

VŠB- Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra Hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Optimalizace průtočné části zpětných
odběrových kapek typu C09 se šikmým
sedlem**

Optimization of flow Rate Part of check
Bleeder Valves C09 with
the Sloping Seat

Student: Bc. Jaroslav Heinz

Vedoucí diplomové práce: prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jaroslav Heinz**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika

Téma: Optimalizace průtočné části zpětných odběrových klapek typu C09
se šikmým sedlem
Optimization of Flow Rate Part of Check Bleeder Valves C09
with the Sloping Seat

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Zpracujte teoreticky a matematicky problematiku optimalizace průtočné části zpětných odběrných klapek pro vysokotlakou páru z hlediska hodnoty ztrátového součinitele s využitím podkladů z firmy ARMATURY Group a. s.

1. Popis funkce zpětné klapky pro řízení průtoku tekutiny.
2. Definování matematického modelu založeného na proudění jednofázové tekutiny (vody, páry), teorie optimalizace s využitím gradientové metody.
3. Definování fyzikálních vlastností vody a páry a definice okrajových podmínek.
4. Vytvoření 3D modelu zpětné klapky a navazujících redukcí, specifikace ztrátového součinitele při proudění vody a páry, řešení silového působení hydrodynamické síly.
5. Optimalizace tvaru za účelem snížení ztrátového součinitele vlivem změny geometrie difuzoru případně dalších částí.
6. Zhodnocení variant řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- INCROPERA, F. a kol.: *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6. edition, John Wiley and Sons 2007, 996 p., ISBN 978-0-471-45728-2.
- KOZUBKOVÁ, M.: *Modelování proudění tekutin FLUENT, CFX*. Ostrava: VŠB-TU, 2008, 115 s., ISBN 978-80-248-1913-6, (Elektronická publikace na CD ROM).
- KOZUBKOVÁ, M. A KOL.: *Modelování přenosu hmoty, hybnosti a tepla*. Ostrava: VŠB-TU, 2011, 115 s., ISBN 978-80-248-1913-6, (Elektronická publikace na CD ROM).
- Ansys, Inc. *ANSYS FLUENT 17 - Theory Guide*. 2015.
- Ansys, Inc. *ANSYS FLUENT 17 - User's Guide*. 2015.
- Ansys, Inc. *ANSYS FLUENT 17 – Adjoint Solver*. 2015.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21. 9. 2018

Podpis: 

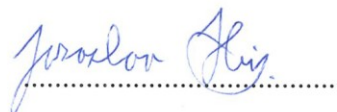
Poděkování

Zvláštní poděkování bych rád věnoval vedoucí diplomové práce prof. RNDr. Miladě Kozubkové, CSc. a doc. Ing. Bojkovi za rady, ochotu a vytrvalost při tvorbě této práce. Dále bych rád poděkoval celé Katedře Hydromechaniky a hydraulických zařízení za vstřícnost a ochotu při řešení problémů, které se kdy za dobu práce objevily.

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2018



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jaroslav Heinz

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Medlov

Zadní Újezd 8

Anotace diplomové práce

HEINZ, Jaroslav. *Optimalizace průtočné části zpětných odběrových kapek typu C09 se šikmým sedlem: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní: Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2018, 74s. Vedoucí práce: prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

Diplomová práce se zaměřuje na teoretickou přípravu k optimalizaci odporů armatury s praktickým ověřením na geometrii v ANSYS Fluent. Na základě teoretické průpravy je vytvořen matematický model v souladu s českou státní normou ČSN EN 60534-2-3. Následná optimalizace zpětné klapky má vykazovat snižující se trend tlakového spádu. Výsledky jsou vyhodnoceny pomocí grafických výstupů za pomoci ANSYS Fluent s následným vyhodnocením ztrátového součinitele pomocí tabulek a programu Excel. Na základě různých přístupů je v závěru sepsán výsledek optimalizace klapky se všemi problémy včetně zhodnocení použitelnosti.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

HEINZ, Jaroslav. *Optimization of Flow Rate Part of Check Bleeder Valve C09 with the sloping seat.: Master Thesis*. VŠB –Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2018, 74s. Thesis head: prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

Master thesis focuses on the theoretical preparation for the optimization of the resistance of the valve with the practical verification on geometry in ANSYS Fluent. On the basis of the theoretical training a is created mathematical model in accordance with the Czech state standard ČSN EN 60534-2-3. Subsequent optimization of the Check Bleeder Valve is to show a decreasing trend of the pressure drop. Results are evaluated using graphical outputs using ANSYS Fluent, followed by evaluation of the loss coefficient using tables and Excel. Based on the different approaches, the result of optimizing the flap with all the problems, including usability evaluation, is written.

Obsah

Přehled použitých značek v diplomové práci:.....	10
Úvod.....	12
1. Armatury v praxi.....	14
1.1. Armatury pro řízení průtoku.....	14
1.2. Armatury pro hrazení průtoku.....	15
1.3. Armatury pro řízení tlaku.....	16
1.4. Armatury ostatní.....	17
2. Zpětné klapky.....	18
2.1. Zpětná klapka C09 se šikmým sedlem.....	18
2.2. Zásady pro měření zpětných klapek.....	19
2.3. Ztrátový součinitel definovaný pro zpětné klapky.....	21
3. CFD modelování.....	24
4. Optimalizační nástroje programu ANSYS.....	25
4.1. Adjoint Solver.....	26
5. SpaceClaim.....	27
5.1. Optimalizace na jednoduché úloze válce.....	27
6. Matematický model pro zpětnou klapku.....	30
6.1. Fyzikální vlastnosti tekutin.....	30
6.2. Geometrie zpětné klapky.....	31
6.3. Definování výpočetní sítě.....	32
6.4. Matematický model v softwaru ANSYS Fluent.....	33
6.5. Vyhodnocení výsledků pro zpětnou klapku.....	34
7. Optimalizace prvků.....	37
7.1. Optimalizace sloupku.....	37
7.1.1. Změna úkosu za rádius R12.....	38
7.1.2. Změna rádiusu na zaoblený profil.....	39

8.	Metodika Adjoint Solveru.....	41
8.1.	Úprava geometrie pro optimalizaci difusoru	41
8.2.	Adjungovaný výpočet pro model bez klapky	42
8.2.1.	Observable (Proměnná).....	42
8.2.2.	Výpočetní metody „Method“	43
8.2.3.	Řešení modelu „Solver Controls“	43
8.2.4.	Hranice konvergence „Monitors“	44
8.2.5.	Výpočet „Calculation“.....	44
8.3.	Modifikace viskozity proudícího media	45
9.	Optimalizace difusoru	47
9.1.	Nastavení nástrojů „Design Tool“	48
9.2.	Deformace dosedací plochy.....	50
9.3.	Změna tvaru difusoru.....	52
10.	Zpětné dosazení klapky do modifikovaného tvaru.....	54
11.	Výpočet pro optimalizovaný tvar se zpětnou klapkou	56
12.	Tlakový spád na armatuře	58
13.	Ztrátový součinitel.....	59
14.	Závěr.....	60
	Použitá literatura	63
	Přílohy	66

Přehled použitých značek v diplomové práci:

a	Hodnota úkosu	[mm]
C_v	Průtokový součinitel	[lb·ft ⁻³]
F_D	Součinitel typu armatury	[1]
F_l	Součinitel regulačního tlaku u tlakových armatur	[1]
F_{LP}	Součinitel regenerace tlaku a tvaru potrubí	[1]
F_p	Tvarový součinitel potrubí	[1]
F_R	Součinitel vlivu Reynoldsova čísla	[1]
G_x	Polohy těžiště kartézského systému	[mm]
G_y	Polohy těžiště kartézského systému	[mm]
G_z	Polohy těžiště kartézského systému	[mm]
K_v	Průtokový součinitel	[m ³ ·hod ⁻¹]
l	Délka	[m]
M	Molární hmotnost proudící tekutiny	[kg·kmol ⁻¹]
m	Hmotnost částice	[kg]
N_I	Číselné konstanty	[dle rozměr. analýz]
n	Látkové množství	[mol]
p	Tlak	[Pa]
Q	Průtok	[m ³ ·hod ⁻¹]
R	Molární plynová konstanta	[J·K ⁻¹ ·mol ⁻¹]
R_o	Odpor	[kg·m ⁻⁷ s ⁻²]
R_p	Poloměr	[m]
Re	Reynoldsovo číslo	[1]
T	Teplota termodynamická	[K]
V	Objem	[m ³]
v	Rychlost	[m·s ⁻¹]
y^+	Stěnová funkce	[1]

β	Úhel náklonu klapky	[°]
Δp	Tlakový spád	[Pa]
ζ	Ztrátový součinitel	[1]
η	Dynamická viskozita	[Pa · s]
μ	Průtokový součinitel	[1]
ν	Kinematická viskozita	[m ² · s ⁻¹]

Úvod

Matematicko-fyzikálním modelováním s aplikací fyzikálních zákonů a jevů se lze dopracovat k odpovídajícím výstupům reálných aplikací. Trend použití matematických rovnic pro jednotlivé děje nachází řešení v softwarech ANSYS CFX , především ANSYS Fluent.

Tyto programy nejenže umožní základní simulaci proudění, ale mají i řadu optimalizačních nástrojů, které pomáhají zlepšit vlastnosti systému. Tomuto trendu se říká optimalizace a v dnešní době je na ni kladen ve strojírenství velký důraz. Především z důvodu odzkoušení geometrie, bez potřeby model vyrábět a teprve poté vyhodnocovat jeho problematiku. Práce se zabývá snížením ztrátového součinitele armatury za použití optimalizačních nástrojů na základě tlakového spádu, ze kterého bude vyhodnocen ztrátový součinitel. Výsledný optimalizovaný model zabezpečuje, jak časové, tak finanční úspory oproti vyrábění jednotlivých prototypů a následnému zkoušení.

K optimalizaci je potřeba vytvořit matematický model a upravit jej do podoby dle norem ČSN EN v souladu s měřením na reálných aplikacích. Důvodem je eliminace chyb porovnáním výsledků matematického modelu s experimentem. U matematického modelování probíhají změny v rámci programu ANSYS.

Pro zpětnou odběrovou klapku je pracovním médiem vysokotlaká pára. Pro optimalizování s využitím ANSYS Fluent musí být nahrazena vysokotlaká pára ekvivalentním médiem z důvodu použitelnosti Adjoint Solveru. Práce se proto zabývá jednotlivými fyzikálními vlastnostmi proudících médií.

S využitím programu SpaceClaim je provedena úprava poskytnuté geometrie s následným vytvořením metodiky. S využitím literárních poznatků je proveden popis ztrátového součinitele spolu s působením hydrodynamické síly na talíř kapky. Hydrodynamická síla v tomto případě pomáhá uzavírání klapky.

Optimalizace odběrové klapky je provedena s cílem snížení tlakové ztráty. Z výsledného snížení tlakového rozdílu jsou vyhodnoceny ztrátové součinitele pro různé varianty optimalizace. Případné problémy s optimalizací v průběhu práce budou řešeny a popsány v závěru této práce. Snížení tlakového spádu bude provedeno pro difusor, u kterého se předpokládá, že optimalizací selepší energetická náročnost armatury. Optimalizační programy pracují s matematickými rovnicemi, nikoli však s pevnostními výpočty. Případná deformace optimalizovaného tvaru vytváří nevyrobitelný tvar s jinými vlastnostmi. Z těchto důvodů je velmi důležité dosáhnout souladu optimalizace s výrobitelností součástí.

Optimalizačních nástrojů se velmi dobře využívá u automobilového průmyslu, především u sacích a výfukových potrubí motoru.

Práce je ukončena závěrem, kde je provedeno zhodnocení celkového průběhu práce. V prvním kroku je provedeno zhodnocení literárních poznatků s využitím u praktické části. V druhém kroku je vyhodnocena optimalizace s popisem problémů, které mohou nastat v řešení této práce spolu s vyhodnocením ztrátového součinitele s využitím optimalizace na základě tlakového spádu s klesajícím trendem.

Cílem práce je zpracovat rešerši týkající se matematického modelování v CFD programu ANSYS a jeho systémového prostředí. Úkolem je optimalizace zpětné klapky typu C09 se šikmým sedlem od firmy ARMATURY Group a. s. s cílem zlepšit energetickou náročnost. Optimalizace je vedena s cílem efektivně modifikovat tvar armatury s cílem na vyrobiteľnosť geometrie. K optimalizaci je využit program ANSYS, který využívá optimalizačních nástrojů pracujících na gradientové metodě spolu s praktickým ověřením na úloze. Výsledkem bude vyhodnocení tlakového spádu spolu se ztrátovým součinitelem u modifikovaných tvarů porovnávaných s počátečním stavem. Všechny následující informace jsou vyhodnoceny v závěru práce.

1. Armatury v praxi

Armatury jsou konstrukční celky používané v oblasti hydrauliky, pneumatiky a všeobecně pro všechny typy dopravovaných medií (kapaliny, plyny a páru).[1] Použití je následující:

- Pro řízení průtoku tekutin – armatury regulační
- Pro hrazení průtoku tekutin – ventily uzavírací (šoupátka, kohouty, klapky a zpětné ventily)
- Pro řízení tlaku tekutin – pojistné ventily a redukční ventily
- Ostatní prvky jako: Filtry a kondenzační odváděče

1.1. Armatury pro řízení průtoku

Těž lze těmto armaturám říkat regulační armatury.[1] Konstrukce umožňuje řídit tok kapaliny tak aby na výstupu byly parametry, které potřebujeme pro regulaci průtoku páry do ohřívače nebo elektrárny.

Pohony regulačních armatur:

- a. Ruční pohon – otáčením kola a stoupáním závitu se reguluje průtočná plocha
- b. Elektrický pohon – krokové elektromotory,
- c. Hydraulický pohon – pohon za pomoci hydraulické síly pro velké průtokové plochy
- d. Pneumatický pohon – pro malé světlosti a parní medium
- e. Kombinace těchto pohonů – elektricko hydraulické, elektricko mechanické nebo jiné

Typ pohonů závisí od průtočného media a světlosti armatury.[1] [2] Pro velké průměry a velké rychlosti je vhodné použít hydraulický pohon. Pro parní medium je možno využít kombinaci všech těchto pohonů. Nedoporučuje se využít hydraulické síly z důvodu velké tepelné přeměny u oleje při uzavírání armatury. Na obrázku (Obr 1.1) lze pozorovat armaturu používanou v praxi pod názvem RV 502 s tlakově uzpůsobenou kuželkou. Tento ventil je opatřený na výstupu clonou pro případné měření charakteristik nebo zpětnou vazbu pro další prvky.



Obr. 1.1. Regulační ventil RV 502 s tlakově uzpůsobenou kuželkou [22]

1.2. Armatury pro hrazení průtoku

Armatury uzavírací mají pouze dvě technologicky funkční polohy: otevřené a zavřené. Hlavním požadovaným kritériem na uzavírací armatury je těsnost v poloze uzavřené. Absolutní těsnosti nelze prakticky dosáhnout, přípustnou netěsnost nám určuje specifická norma. V České republice je to norma ČSN 13 3060 předepisující požadavky pro experimentální zkoušky průmyslových armatur. Pro jiné země součástí evropské unie jsou jiné normy, které specifikují důležité parametry.

Důležitými parametry jsou:

- Spolehlivost (jistota) uzavření
- Tlaková ztráta
- Ztrátový součinitel

Spolehlivost uzavření vychází z bezpečnostního hlediska, kde by měla být absolutní spolehlivost (jistota), že armatura byla spolehlivě uzavřena. Například senzor, který hlídá uzavírací element nebo mechanické uzavření kulovým ventilem pomocí obsluhy strojního zařízení. Na obrázku (Obr. 1.2) lze vidět příklad kulového ventilu[1].

Armatury pro hrazení průtoku lze rozdělit například:

- Kulové ventily též kohouty
- Armatury se šoupátkovým elementem s konstrukcí pro největší světlosti
- Uzavírací klapky též zpětné klapky

Zpětné odběrové klapky jsou cílem optimalizace, proto se jim bylo více věnováno v této práci.



Obr. 1.2. Kulový ventil ovládaný mechanicky (pákou) [1]

1.3. Armatury pro řízení tlaku

Tyto prvky se vyznačují pojistnou funkcí.[1] [2] Lze je tedy pojmenovat jako pojistné armatury. Slouží k ochraně systému před překročením maximálního dovoleného tlaku v systému. Zpravidla jsou posledním ochranným prvkem v systému, proto podléhají nejprísnějším normám. Vyznačují se velmi dobrou rychlostí reakce na zvýšení tlaku v systému.

Vyrábějí se jako:

- a) Přímo řízené pojistné ventily – vyznačující se jednoduchou konstrukcí, zpravidla pružinových nebo závažových konstrukcí.
- b) Pojistné ventily nepřímo řízené – takzvané ventily impulzní. Sestavují se z přímo řízeného ventilu pojistného malou světlostí jako stupeň první. Druhý stupeň obsahuje prvek větší světlosti a je řízen tlakem kapaliny z prvního stupně. [1] [2]

Dalším prvkem v kategorii armatur pro řízení tlaku je ventil redukční. Slouží jako regulátor výstupního tlaku.[1] [2] Vyrábí se pro media jak plynné tak kapalná. Technologicky je tvořen válcem, na který doléhá kuželka, která mění průtočný průřez prvkem a tím dochází k zvětšení tlaku nebo naopak k poklesu tlaku na redukčním ventilu. Uzavírání a otevírání kuželky lze měnit například pomocí membránového pneumatického regulátoru. Využití je například v teplárenství nebo jiných průmyslových odvětvích.

1.4. Armatury ostatní

Mezi tyto armatury patří například armatury filtrační a odvaděče kondenzátu nainstalované do potrubí tedy armatury filtrační a odlučovací. Tuto konstrukci lze vidět na obrázku (Obr. 1.3). [1] [2]

Princip činnosti:

- Odvaděč kondenzátu pracuje na principu, že když se zaplní prostor kondenzátem z přívodu, otevře se dutý element koule a otevře vývod.
- Filtry do potrubí jsou konstruovány pro vodní páru, vodu a vzduch. Použití například v parovodech, horkovodech a jiných aplikacích.

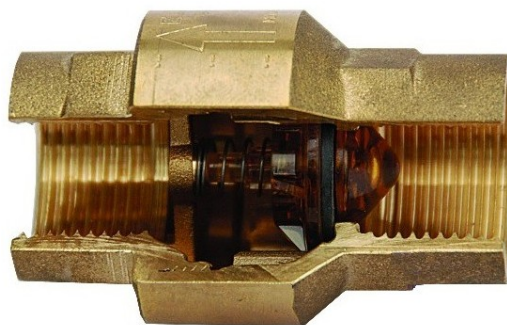


Obr. 1.3. Filtrační armatura pro filtrování plynných látek v rozsahu 30-50 [μm] [20]

2. Zpětné klapky

Zpětné odběrové klapky jsou uzpůsobené k řízení průtoku pracovního média v jednom směru a naopak ve směru druhém zamezení průtoku média. [2] [3] V reálných úlohách se využívají převážně u jaderných elektráren, plynovodů velkých světlostí a u mnoha dalších aplikací.

Fungování klapky je založeno na principu samočinného otevírání a zavírání klapky vlivem samotné tíhy klapky a působením silových účinků proudícího média na klapku. Ve stavu, kdy jsou dynamické síly na klapku v rovnováze se silou gravitační u klapky, dochází k otevírání klapky. Naopak když jsou dynamické silové poměry malé, dojde k přivírání klapky nebo až k jejímu celkovému uzavření. V případě zpětného proudění, které je vyšší než proudění, dochází k celkovému uzavření armatury. Za běžného stavu jsou klapky armatur plně otevřené s cílem snížení průtokových odporů na nejmenší možnou míru. Na obrázku (Obr. 2.1), lze pozorovat řez zpětné klapky, která obsahuje plastový uzavírací element pro montáž do potrubí.

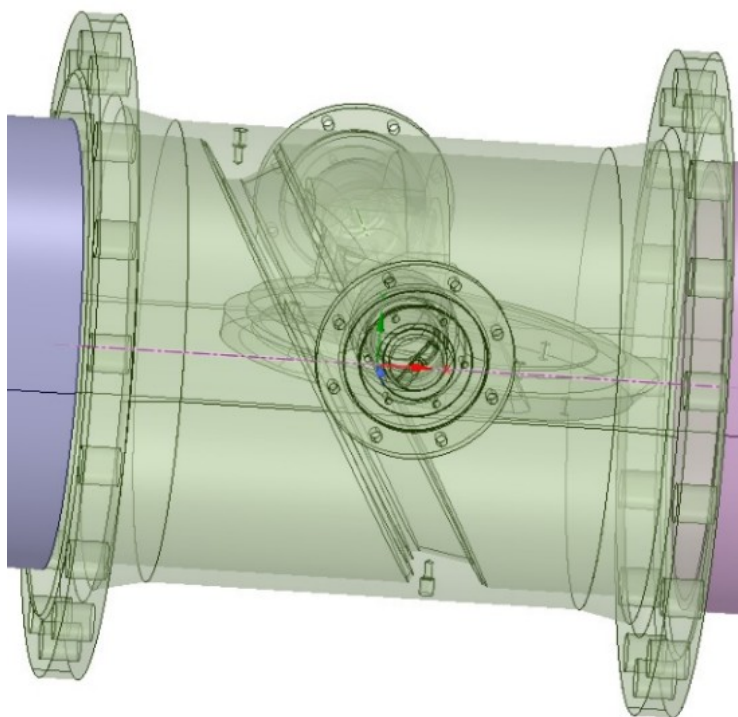


Obr. 2.1. Řez tvaru zpětné klapky s plastovým uzavíracím elementem [21]

2.1. Zpětná klapka C09 se šikmým sedlem

Geometrie zpětné klapky byla poskytnuta firmou ARMATURY Group a.s. s úkolem optimalizace za pomoci programů využívající matematických modelů.[3] Geometrii zpětné klapky C09 se šikmým sedlem lze vidět na obrázku (Obr. 2.2)

Tento typ klapky je používán výhradně pro energetické účely. Geometrie šikmého sedla je zde využívána z technologického hlediska díky těsnosti, odolání statickému a dynamickému tlaku v potrubí. Tvar uzavíracího elementu je opatřen závažím, které je zde využito pro lepší charakteristiku uzavírání armatury. Závaží má pomáhat hydrodynamické vztlakové síle a zlepšit charakteristiku uzavírání ventilu.

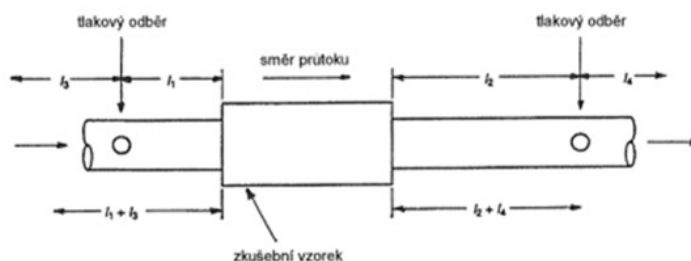


Obr. 2.2. Geometrie zpětné klapky C09 se šikmým sedlem

Konstrukce matematického modelu má splňovat náležitosti reálného aplikačního měření. Z těchto důvodů musí být využito zásad pro měření zpětných klapek.

2.2. Zásady pro měření zpětných klapek

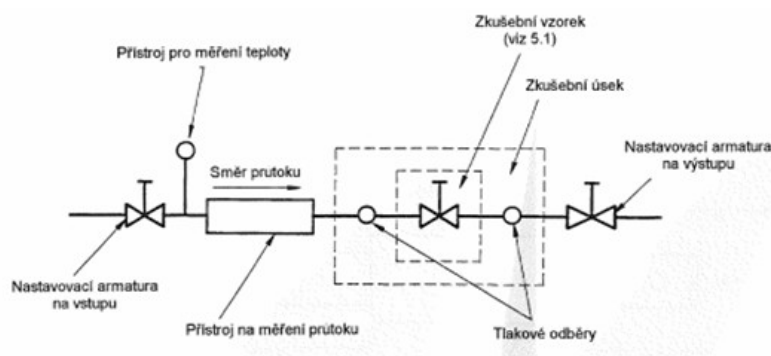
V České republice podléhají armatury a vlastní měření normě ČSN EN 60534-2-3 s vydáním roku 1999 [11], [12]. Tato norma je statusem české technické normy. Norma podrobně definuje délky přípojných potrubí včetně odběrných míst, které jsou základním prvkem pro měřicí schéma znázorněné na obrázku (Obr. 2.4). Přesné rozměry jsou k vidění na obrázku (obr. 2.3) a jsou popsány v tabulce (Tab. 2.1).



Obr. 2.3. Standardní uspořádání měřicího systému

<u>Jmenovité</u>	<u>Hodnota dle normy pro jmenovité délky</u>
l_1	Dvakrát jmenovitá světlost zvolené trubky
l_2	šestkrát jmenovitá světlost zvolené trubky
l_3	osmnáctkrát jmenovitá světlost zvolené trubky minimální
l_4	Jedenkrát jmenovitá světlost zvolené trubky minimální

Tab. 2.1. Jmenovité délky potrubí



Obr. 2.4. Schéma měřicí trati pro armatury dle normy

Vyhodnocovanými parametry pro charakterizování armatury jsou následující veličiny:

- Průtokový součinitel C_v taktéž (μ)
- Součinitel regulačního tlaku u tlakových armatur F_L
- Tvarový součinitel potrubí F_P
- Součinitel regenerace tlaku a tvaru potrubí kombinovaný s přídatnými zařízeními F_{LP}
- Součinitel vlivu Reynoldsova čísla F_R
- Součinitel typu armatury F_d

Použitím předepsaných postupů dle normy vychází mezní úchylky na $\pm 5\%$ při poměru $\frac{C_v}{d^2}$ u armatur. Průtokový součinitel lze též najít jako μ nebo C_v v jiných literaturách.

$$\text{– Součinitel } C_v = \frac{Q}{N_1} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot l \cdot \rho_0}{\Delta p}} \quad (\text{rov. 2.1})$$

Taktéž lze najít průtokový součinitel jako K_v

$$\text{– Součinitel } K_v = \frac{1}{100} \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (\text{rov. 2.2})$$

Při měření průtokových součinitelů norma vyžaduje, aby bylo měření prováděno při třech tlakových spádech v celém rozsahu turbulentního proudění. [11] [12] Zároveň však tlak nesmí být menší než 0,1 bar a ne v oblasti odpařování tekutin z důvodu zabránění kavitace při zkouškách. Doporučenými tlakovými spády jsou následující:

- a. Před počátkem tlaku nasycených par tedy počátku kavitace
- b. Zároveň doporučeno asi 50% tlakového spádu dle bodu předešlého (a)
- c. Zároveň doporučeno asi 10% tlakového spádu dle bodu předešlého (a)

Výsledky odchylek je důležité zaznamenat a následně odůvodnit

2.3. Ztrátový součinitel definovaný pro zpětné klapky

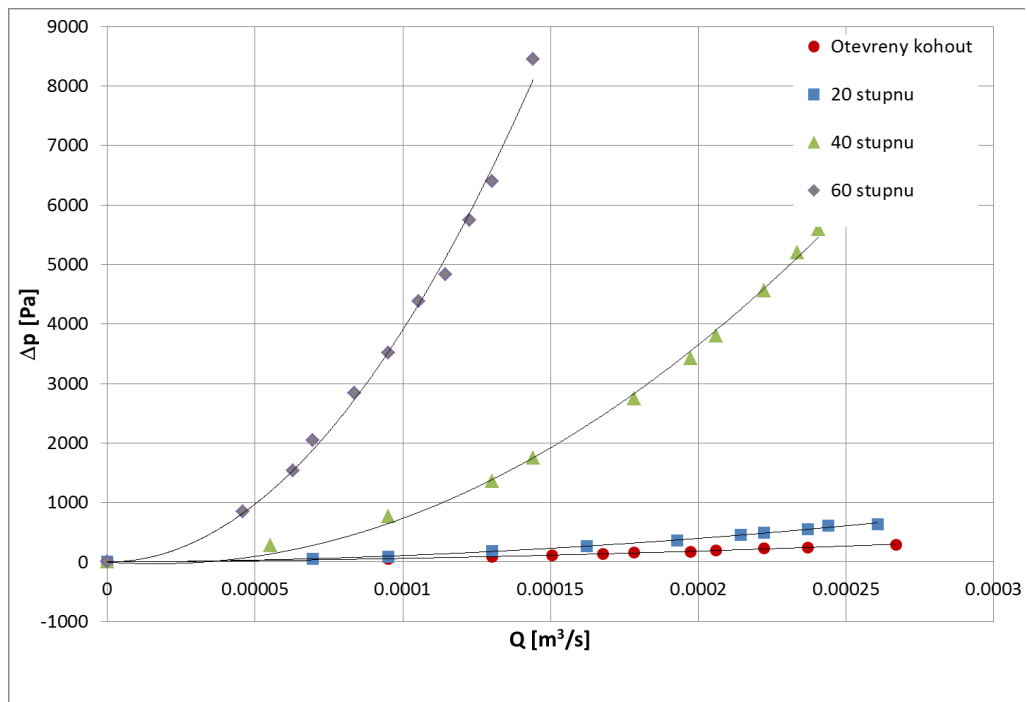
Důležitým parametrem definující zpětnou klapku je ztrátový součinitel ζ , který se získá z Bernoulliho rovnice. [4] [7] [10] [16] Výsledná hodnota ztrátového součinitele je popsána rovnicí (rov. 2.3).

$$\text{Ztrátový součinitel: } \zeta = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot v^2} \quad (\text{rov. 2.3})$$

Pomocí ztrátového součinitele je možné definovat průtokový součinitel μ , který je popsán v rovnici (rov. 2.4)

$$- \text{ Průtokový součinitel } \mu = \frac{1}{\sqrt{\zeta}} \quad (\text{rov. 2.4})$$

Charakteristikou zpětných klapek je závislost tlakového spádu Δp , na průtoku Q . Tyto charakteristiky jsou sestaveny pro úhly β , které odpovídají jmenovitému otevření ventilu dle obrázku (obr. 2.5), kdy jmenovité křivky odpovídají otevření kohoutu na 20°, 40° a 60°



Obr. 2.5. Δp - Q charakteristika kohoutu (zpětné klapky) na úhlu β otevření kohoutu (klapky)[7]

Odpor R_o vychází z rovnice pro tlakový spád (rov. 2.5)

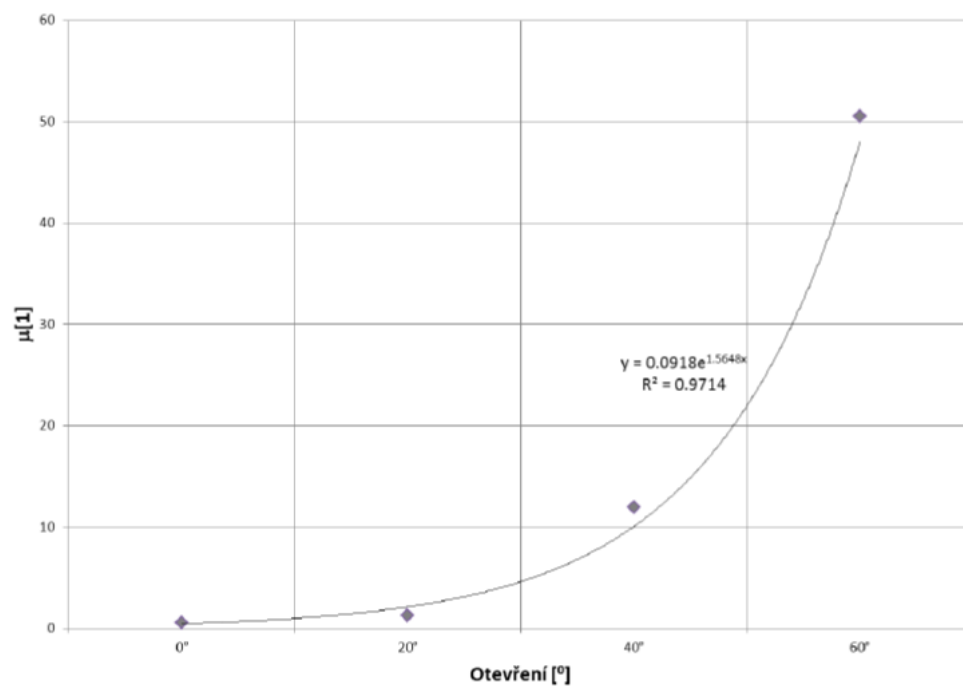
$$\text{– Tlakový spád } \Delta p = R_o \cdot Q_v^2 \quad (\text{rov. 2.5})$$

Z této podmínky výpočet odporu je následující:

$$\text{Odpor } R_o = \frac{\rho \cdot \zeta}{2 \cdot S^2} = \zeta = \frac{R_o \cdot 2 \cdot S^2}{\rho} \quad (\text{rov. 2.6})$$

Vytvořením závislosti Δp - Q^2 lze určit hodnotu odporu pomocí Excelu

Výpočtem odporu lze určit ztrátový součinitel ζ pro otevření ventilu. Z vypočtených dat lze sestavit graf otevření ventilu v závislosti na průtočném součiniteli μ . Tuto charakteristiku lze vidět na obrázku (Obr. 2.6). U charakteristiky je viditelné, že průtočný součinitel je nejmenší s malým otevřením ventilu a roste s postupným otvíráním. [7] [10]



Obr. 2.6. Charakteristika otevření ventilu na průtočném součiniteli μ [7]

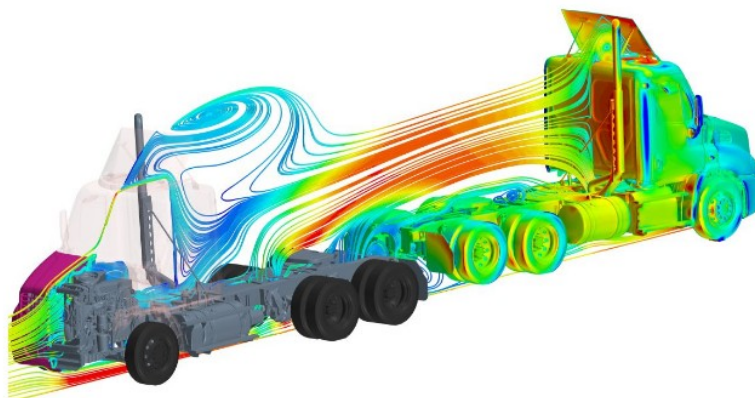
3. CFD modelování

Kritériem pro optimalizaci prvku, jímž proudí tekutina, je analýza proudění, kterou lze získat užitím softwaru pracujícím na principu CFD.[5] [6] [14] Zkratka CFD (Computer Fluid Dynamic) řeší dynamické proudění s využitím matematických modelů. Slouží k řešení fyzikálních jevů, které se úzce spojují s fyzikálním modelem:

- a. Řešení laminárního a turbulentního proudění
- b. Řešení stlačitelného a nestlačitelného proudění
- c. Řešení stacionárního, přechodového a nestacionárního proudění
- d. Řešení přenosu tepla, smíšené konvekce a radiace

Matematických modelů a CFD modelování, lze téměř vždy využít pro řešení hledaných cílů. Nejrozšířenějším a nejpoužívanějším CFD softwaru je ANSYS CFD. ANSYS obsahuje dva nástroje, ANSYS CFX a ANSYS Fluent. ANSYS Fluent je výkonný program, který umožňuje modelovat komplexní proudění. V rámci své funkce obsahuje široký výběr fyzikálních modelů, umožňuje vytvoření a nastavení úloh spolu s jejich výpočtem a vyhodnocením. Více k programu ANSYS Fluent lze nalézt v odborné literatuře [7], [6] a [5]

Úkolem práce je optimalizace průtočné části zpětné klapky za použití CFD modelování. K tomu to úkolu bude použit program ANSYS Fluent a jeho systémové prostředí, které umožňuje optimalizaci pomocí Adjoint Solveru. Jedná se o specializovaný nástroj rozšiřující standardní analýzy. Je schopen poskytovat záznamy o citlivosti systému proudícího média. Lze jej tedy využít k optimalizaci jakéhokoli prvku, například pro uvedený obrázek tahače (Obr. 3.1). [19]



Obr. 3.1. Ukázka obtékání tělesa v programu ANSYS Fluent [23]

4. Optimalizační nástroje programu ANSYS

Optimalizačních nástrojů se využívá k vylepšení geometrie nebo vlastností modelu. K optimalizování slouží v ANSYS Fluent připojený modul Adjoint Solver. Tento nástroj je detailně popsán v návodech k ANSYSU [14] a [13]. Optimalizační nástroje slouží k optimalizaci velké řady veličin. Optimalizace mat. modelu má potřebné podmínky, kterých musí být dosaženo, aby bylo možné optimalizaci zahájit:

- Stav proudění je definován pro proudění trvale nestlačitelné a jednofázové, které je buď turbulentní, nebo laminární ležící ve vztažné soustavě inerciální.
- Základní proudění je nutné řešit pro okrajové podmínky, aby úloha dobře a rychle konvergovala (tj. aby nedocházelo k silně turbulentnímu proudění, aby bylo zabráněno vzniku vírové cesty z důvodu obtoku překážek, aby byl v oblasti zájmu dostatečný tlakový spád). Lépe je dosaženo konvergence Adjungovaného řešiče.
- Pro proudění turbulentní je použit předpoklad zmrazené turbulence, ve které se vliv změn turbulentního stavu nebude brát v úvahu při výpočtu citlivostní analýzy.
- U turbulentního proudění jsou standardní stěnové funkce použity na všech stěnách.
- Adjungovaný řešič využívá metod, které jsou v nastavení počátku v prostoru prvního řádu přesnosti. Lze vybrat i metody druhého řádu přesnosti (viz. Používání Adjungované řešení metody).
- Okrajové podmínky mohou být pouze následující:
 - stěna
 - výstupní tlak
 - symetrie
 - rotační a translační periodické podmínky
 - vstupní rychlost

Lze tedy posuzovat zkoumaný matematický model z velké škály veličin těmi pak jsou:

- Tlakový spád
- Rychlostní pole
- Teplotní pole atd.

4.1. Adjoint Solver

Součástí programu ANSYS Fluent je zakomponovaný programový modul Adjoint Solver (Adjungovaný řešič úloh).[8] [13] [14] Jedná se o nástroj, který je specializovaný na rozšiřující standardní analýzy, který je schopen poskytovat záznamy o citlivosti systému, ve kterém proudí médium. Adjoint Solver lze použít k optimalizaci konstrukce daného prvku nebo systému.

Použití Adjoint Solveru jakožto modulu je podmíněno již vytvořenou geometrií pomocí programů Design Modeler nebo SpaceClaim s následnou výpočtovou sítí. Není možné jej použít ve chvíli, kdy není k dispozici soubor dat popisující stav proudění, vygenerovaný standardním výpočtem proudění.

Míra odchylek změny výsledku závisí na citlivosti matematického vzorce pro proudění vůči změněnému parametru. Derivace výsledku podle změněného parametru kvantifikuje citlivost prvního řádu.

Citlivostní analýzy tekutinového systému stanoveného prostřednictvím Adjoint Solveru uspokojí potřeby optimalizace tvaru na bázi gradientové metody. Za pomoci gradientu je tento řešič jedinečným a silným nástrojem a zároveň inženýrsky přívětivým pro navrhování a optimalizování tvaru. Provedením inicializace a monitorováním residuálů se dá vyhodnocovat posloupnost iterací a konvergence úlohy.

Po konvergenci je k dispozici derivace posuzované proměnné vzhledem k pozici každého bodu na povrchu geometrie. Poté lze vyhodnotit citlivostní body (citlivostní mapy) sledované proměnné na vybraných površích. K dispozici je velké množství dat, které lze využít k technologickým úpravám. Úpravy jsou efektivní, pokud se aplikují na model s vysokou citlivostí. Pak malé změny budou mít velký vliv na systém.

5. SpaceClaim

Program SpaceClaim je podobně jako Design Modeler designový nástroj pro tvorbu geometrie. Geometrie lze do programu SpaceClaim nahrát i externě pomocí předem vymodelované součásti v programech jako je Creo Parametric, Inventor a Pro/ENGINEER. Program pracuje s širokým rozsahem formátů a je výhodný pro úpravu geometrie. [24]

SpaceClaim bude využit pro zjednodušení tvaru zpětné klapky se šikmým sedlem. Využité úpravy v programu jsou:

- a. Vytvoření ploch
- b. Vytvoření objemů
- c. Úprava geometrie
- d. Sloučení a odečítání objemů
- e. Vytvoření symetrie- řez
- f. Odečtení součástí od sebe (Booleanovské operace)

Program obsahuje interní databázi konstrukčních celků, které lze využít pro snadnější práci.

SpaceClaim umožňuje zpětné ukládání ve formátu *.SPET po optimalizaci. Exportování geometrie zpět do prostředí SpaceClaim s využitím optimalizace bylo ověřeno na jednoduchém příkladu válce.

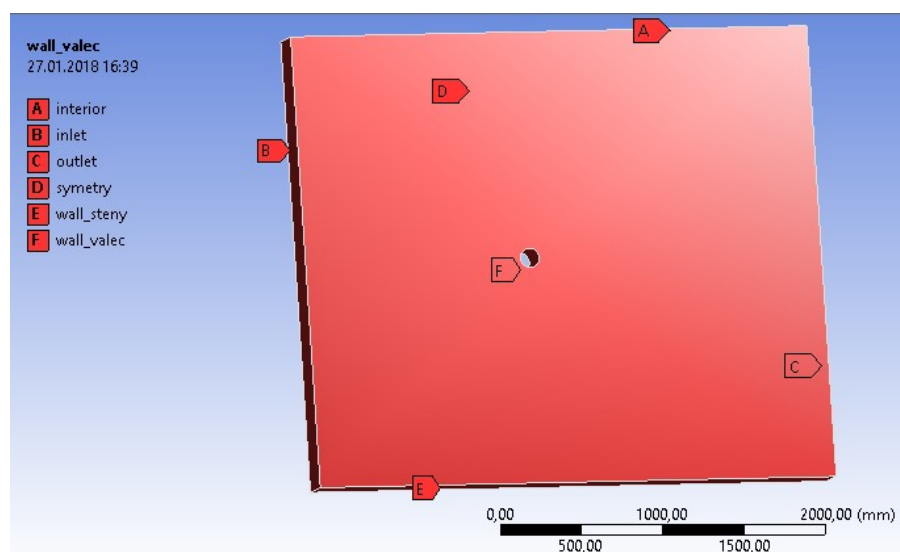
5.1. Optimalizace na jednoduché úloze válce

Pro samotnou optimalizaci zpětné klapky se šikmým sedlem je důležité nejdříve ověřit následující [24]

- a. Funkce optimalizace
- b. Kriteria a parametry optimalizace
- c. Vyrobitelnost upravené geometrie
- d. Převedení upravené geometrie zpět do podprogramu systémového prostředí SpaceClaim
- e. Uložení geometrie ve formátu *.stl

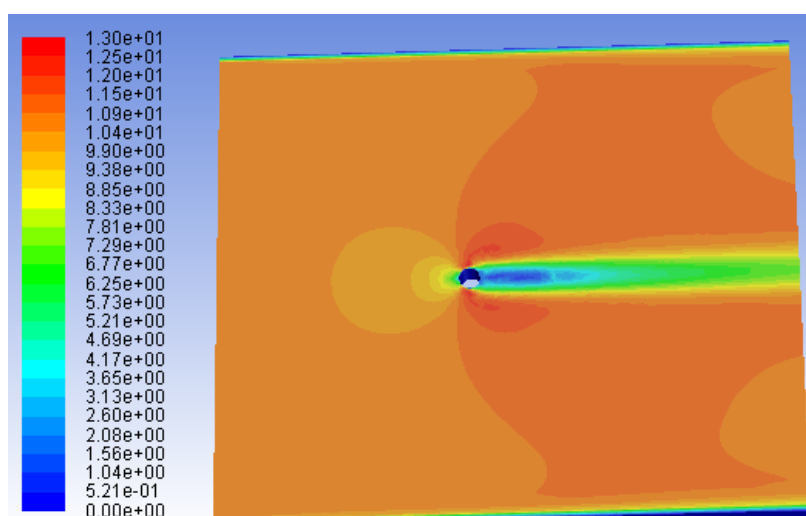
Pro tuto zkoušku byla zvolena úloha obtékání válce, která je popsána ve skriptech [13]. Válec je definován pro velmi rozměrnou oblast popsanou osami x , y a z o hodnotách $3,2 \times 2,7 \times 0,3$ [m]. Okrajovou podmínku tvoří rychlost média $v = 10$ [$m \cdot s^{-1}$].

Zkoumanou oblast a okrajové podmínky lze vidět na obrázku (Obr. 5.1). Pro válec byla definována okrajová podmínka „wall_valec“. [13] [14]



Obr. 5.1. Zobrazení oblasti s popisem okrajových podmínek

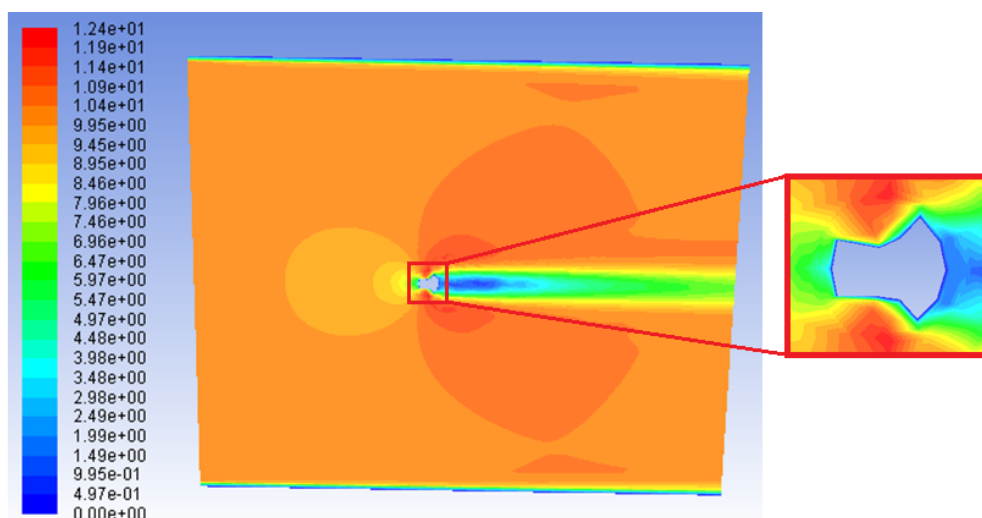
Nastavený model $k - \varepsilon$ vedl k dosažení konvergence při rychlosti $v = 10 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$. Vyhodnocení rychlostního pole lze vidět na obrázku (Obr. 5.2), kde je patrný obtékání válce s profilem rychlosti.



Obr. 5.2. Rychlostní profil při obtékání válce

Podle literatury [13] byla vybrána proměnná pro optimalizaci „Force–drag“ s nastavením na stěnu válce „wall_valec“. Pro tuto proměnnou byly nastaveny výpočetní modely „Solution Controls“ s inicializací a následným výpočtem Adjungovaného řešiče. Optimalizace proběhla s jednou modifikací a velkou deformací tělesa. [13] [14]

Po konvergenci klasického výpočtu lze vidět nový obtékaný tvar na obrázku (Obr. 5.3) s detailem nového tvaru. Optimalizace byla provedena správně, protože rychlost proudícího media je zredukována o $v = 0,6 [m \cdot s^{-1}]$.

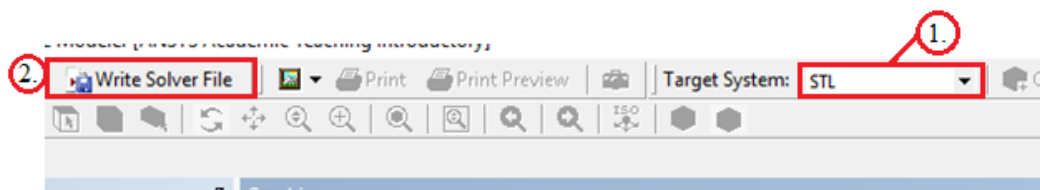


Obr. 5.3. Optimalizovaný tvar spolu s detailem změny tvaru s vyhodnocením rychlostí

Cílem diplomové práce je ověřit, že optimalizovaný tvar lze exportovat s následným otevřením v 3D kreslicí aplikaci. Nejschůdnějším formátem pro export a zpětné otevření je formát „.stl“, který ANSYS využívá. Export geometrie je proveden přes příkazový řádek:

File => Export => BoundaryMesh => *.msh

Exportovaný soubor byl načten do podprogramu ANSYS Finite Element Modeler, který umožňuje dále geometrii exportovat z formátu *.msh do *.stl a následně otevřít v programu SpaceClaim. Návod je zobrazen na obrázku (Obr. 5.4), kde 1. představuje první krok a 2. druhý krok.



Obr. 5.4. Návod na export mesche do stl formátu

Program SpaceClaim umožňuje řadu jiných úprav geometrií. Některé kroky jsou popsány v příloze [A].

6. Matematický model pro zpětnou klapku

V této části bude vytvořen matematický model s výpočetní sítí pro optimalizaci s úmyslem snížení tlakového spádu. Po snížení tlakového spádu lze provést výpočet ztrátového součinitele.

Matematický model je vytvořen pro zpětnou klapku typu C09 se šikmým dosedacím sedlem. Materiály o zpětné klapce lze najít v kapitole 2 a 2.1 této práce. Fyzikální vlastnosti tekutin jsou velmi důležité pro matematický model.

6.1. Fyzikální vlastnosti tekutin

Pracovním médiem je vysokotlaká pára, která je definována jako stlačitelné médium. [14] [16] Jedním ze základních kritérií Adjoin Solveru je jednofázového proudění a trvale nestlačitelné. Z těchto důvodů jsou přiblíženy fyzikální vlastnosti media proudícího ve zpětné odběrové klapce s úmyslem vybrat náhradu za páru s využitím ekvivalentního média. Ekvivalentní medium musí odpovídat vlastnostem parního media a splňovat podmínky pro výpočet páry.

Řešením tohoto problému je využití vodního media, které je definováno jako nestlačitelné a nezávislé na teplotě. Přiblížení fyzikálních vlastností pro obě media je následující:

– Fyzikální vlastnosti vody

Fyzikální vlastnosti pro vodu jsou patrné z tabulky (Tab. 6.1).

Hustota ρ	988,2	$[kg \cdot m^{-3}]$
Viskozita η	0,001003	$[Pa \cdot s]$

Tab. 6.1. Fyzikální vlastnosti vody definované programem ANSYS

– Fyzikální vlastnosti parního media

Fyzikální vlastnosti parního media ovlivňuje teplota. Z toho důvodu je využito stavové rovnice. Rovnice zohledňuje měnící se tlak p , objem V , hustotu ρ , teplotu T a další fyzikální vlastnosti plynů. Pomocí rovnice lze provádět přepočty z pracovních na normální podmínky a naopak.

– Stavová rovnice: $p \cdot V = m \cdot \frac{R}{M} \cdot T \Rightarrow \rho = \frac{M \cdot p}{R \cdot T} = \frac{p}{r \cdot T}$ (rov. 6.1)

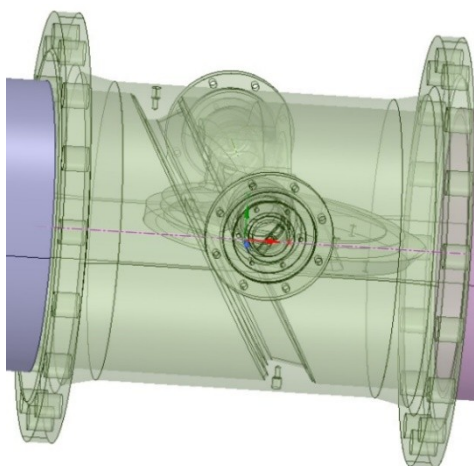
Dle kinetické teorie může být definována tepelná vodivost, viskozita, koeficienty difúze hmoty a měrná tepelná kapacita plynu. Vzorce pro tyto parametry jsou k dispozici v literatuře [4].

6.2. Geometrie zpětné klapky

Geometrii zpětné klapky poskytnutou společností ARMATURY Group a.s. lze vidět na obrázku (Obr. 6.1). Armatura je včetně uzavírací klapky. V takovémto stavu model nelze použít, protože model neodpovídá kritériím použití programu ANSYS Fluent. Následnou úpravou geometrie na průtočný tvar je zaručeno vhodnosti použití pro ANSYS.

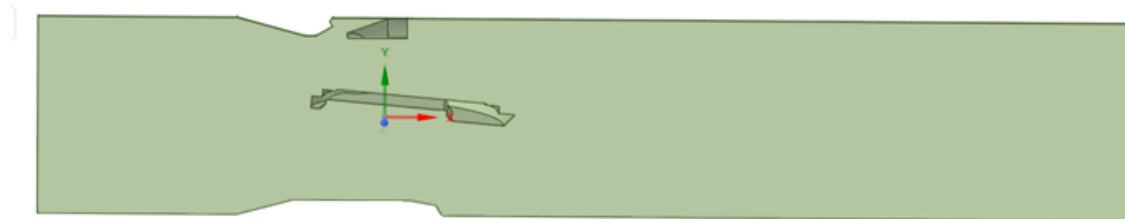
Pro úpravu zpětné klapky byl zvolen program SpaceClaim z důvodu snadných úprav dle kap. 5 a přílohy [A].

Využití zpětných klapek již bylo popsáno v této práci.



Obr. 6.1. Zpětná klapka typu C09 se šikmým dosedacím sedlem, včetně potrubního systému

Úpravami pomocí SpaceClaimu bylo dosaženo průtočného tvaru bez klapky uvnitř armatury. Některé plochy byly problémové, proto byly vyhlazeny. Vyhlazení se týkalo obrysu klapky a pláště armatury. Po vyhlazení bylo připojeno potrubí o délce definované normou ČSN EN 60534-2-3. Konečnou úpravou je rozdělení geometrie rovinou symetrie, důvodem je úspora buněk. Těmito úpravami vznikla geometrie, kterou lze vidět na obrázku (Obr. 6.2).

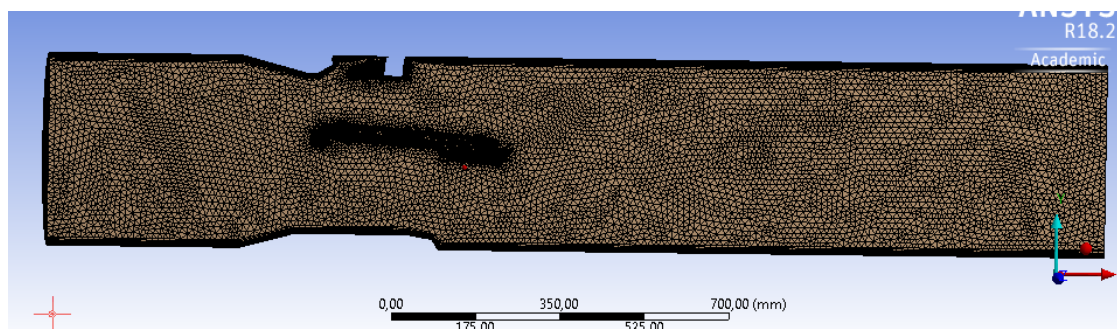


Obr. 6.2. Upravená geometrie zpětné klapky C09 v řezu, upravená pouze na průtočný tvar

Model byl podstoupen v této fázi prvotnímu výpočtu, který vedl k divergenci vlivem malé průtočné spáry nad klapkou. Malý průřez definoval tlak v řádu $1 \cdot 10^{32}$ [Pa]. Z toho důvodu byly odstraněny miniaturní objemy nad klapkou s provedením vysítování.

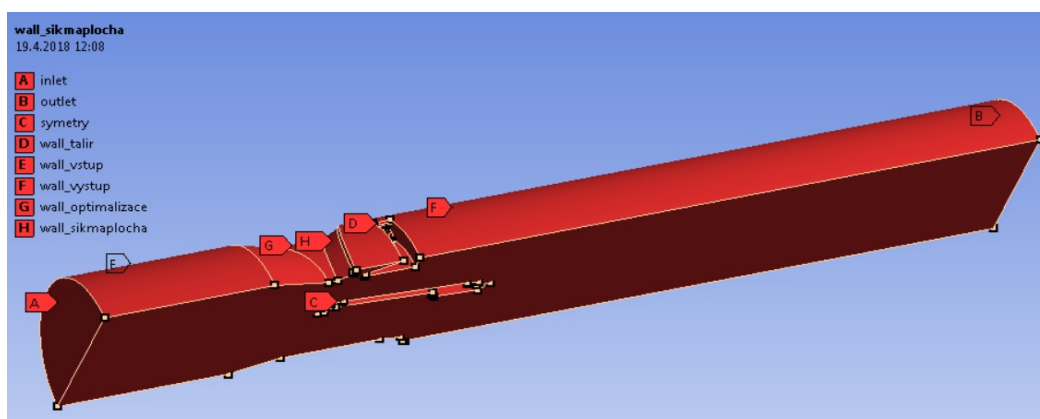
6.3. Definování výpočetní sítě

Výpočetní síť byla vytvořena sítí z čtyřstěnnů s využitím šestistěnnů v blízkosti stěny (inflation). Výsledný počet elementů byl 1 352 255. Počet elementů vedl práci na výkonné počítače ve školních prostorách VŠB. Výpočetní síť lze vidět na obrázku (Obr. 6.3).



Obr. 6.3. Výpočetní síť pro zpětnou klapku s mezní vrstvou

Kvalita síťování je dostatečná a lze definovat okrajové podmínky, které jsou důležité pro program ANSYS, které lze vidět na obrázku (Obr. 6.4).



Obr. 6.4. Okrajové podmínky v ANSYS Mesching

6.4. Matematický model v softwaru ANSYS Fluent

V této podkapitole bude provedeno nastavení s popisem matematického modelu v prostředí ANSYS Fluent.

Z výpočtu Reynoldsova čísla rovnicí (rov. 6.2) byl zvolen turbulentní dvourovnicový model $k - \varepsilon$ se standardní stěnovou funkcí. Tento model se používá pro proudění o vysoké turbulentci.

$$\text{– Reynoldsovo číslo: } Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{5 \cdot 0,2}{1 \cdot 10^{-6}} = 1\,000\,000 \text{ [1]} \quad (\text{rov. 6.2})$$

Okrajové podmínky byly definovány následovně:

- Inlet rychlostní podmínka (Velocity inlet)
- Outlet tlaková podmínka (Pressure outlet)
- Symmetry osová podmínka (symmetry)
- Interior objem (Interior)
- Wall stěnová podmínka (Wall)

Pro vstupní okrajové podmínky je důležité znát vlastnosti proudícího media. Důležité parametry pro vodní medium spolu s fyzikálními vlastnosti jsou popsány v kapitole 6.1.

Okrajové podmínky jsou popsány v tabulce (Tab. 6.2). Ostatní podmínky byly ponechány ve výchozím nastavení.

<u>Okrajové podmínky</u>	Rychlost proudění	Intenzita turbulence	Hydraulický průměr (průměr)	Tlaková podmínka (přetlak)
	[m · s ⁻¹]	[%]	[m]	[Pa]
Inlet	5	1	0,2	-
Outlet	-	1	0,2	0

Tab. 6.2. Tabulka definování (parametry) okrajových podmínek

Odstraněním objemů a vyhlazováním nebylo možné nalézt řešení vedoucí ke konvergenci. Důvodem je velké zavíření za klapkou, které vede k časově závislé úloze. Časově závislá úloha nedovoluje použití Adjungovaného řešitele. Bylo nutné upravit matematický model, který je v základní nastavení vidět v tabulce (Tab. 6.3). Oproti tomu je v tabulce (Tab. 6.4) ukázána změna matematického modelu.

Primární nastavení matematického výpočetního modelu		
Scheme	Schéma	Simple
Gradient	Přírůstek (gradient)	Least Squares Cell Based
Pressure	Tlak	Second Order
Momentum	Moment	Second Order Upwind
Turbulent kinetic energy	Turbulentní kin. energie	First Order Upwind
Turbulent dissipation rate	Míra rozptylu turbulence	First Order Upwind

Tab. 6.3. Výchozí hodnoty nastaveného matematického modelu v programu ANSYS

Primární nastavení matematického výpočetního modelu		
Scheme	Schéma	Copled
Gradient	Přírůstek (gradient)	Least Squares Cell Based
Pressure	Tlak	Standart
Momentum	Moment	First Order Upwind
Turbulent kinetic energy	Turbulentní kin. Energie	First Order Upwind
Turbulent dissipation rate	Míra rozptylu turbulence	First Order Upwind

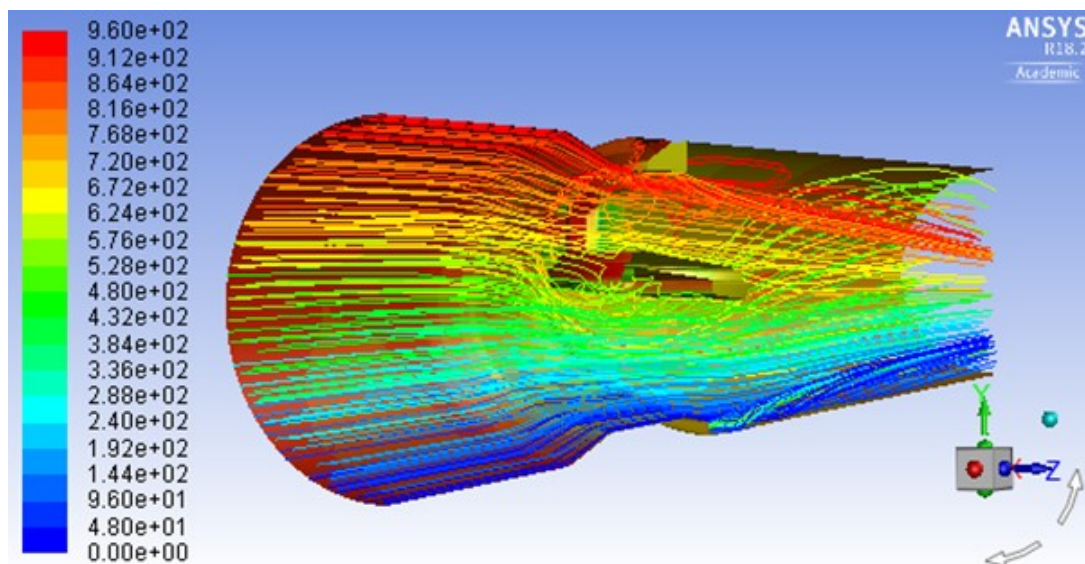
Tab. 6.4. Změněné hodnoty nastaveného matematického modelu v programu ANSYS

Změnou matematického modelu úloha dosáhla konvergence. S konvergencí lze vyhodnotit výsledky pro základní tvar.

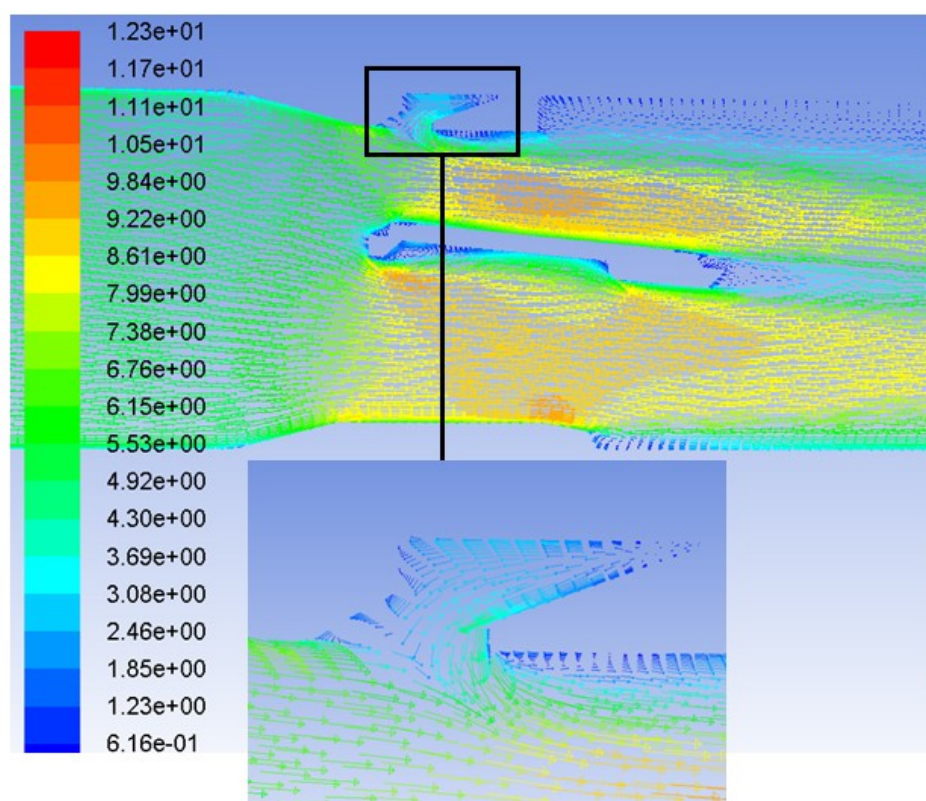
6.5. Vyhodnocení výsledků pro zpětnou klapku

Vyhodnocení v této kapitole je provedeno pro rychlostní profil, stěnovou funkci a statický tlak, kterých bude využito pro vyhodnocení tlakového spádu. Vektory na symetrii z obrázků (obr. 6.5 a 6.6) ukazují místa, kde dochází ke zpětnému proudění. Zpětné proudění je důsledkem odstranění miniaturních objemů nad talířem klapky.

Největší zavíření kapaliny je v místě za klapkou, lze tedy předpokládat, že klapka s difusorem budou rizikovými místy, které budou s pravděpodobností optimalizovány.



Obr. 6.5. Zobrazení vektoru rychlostí pomocí trajektorie částice (Pathlines)

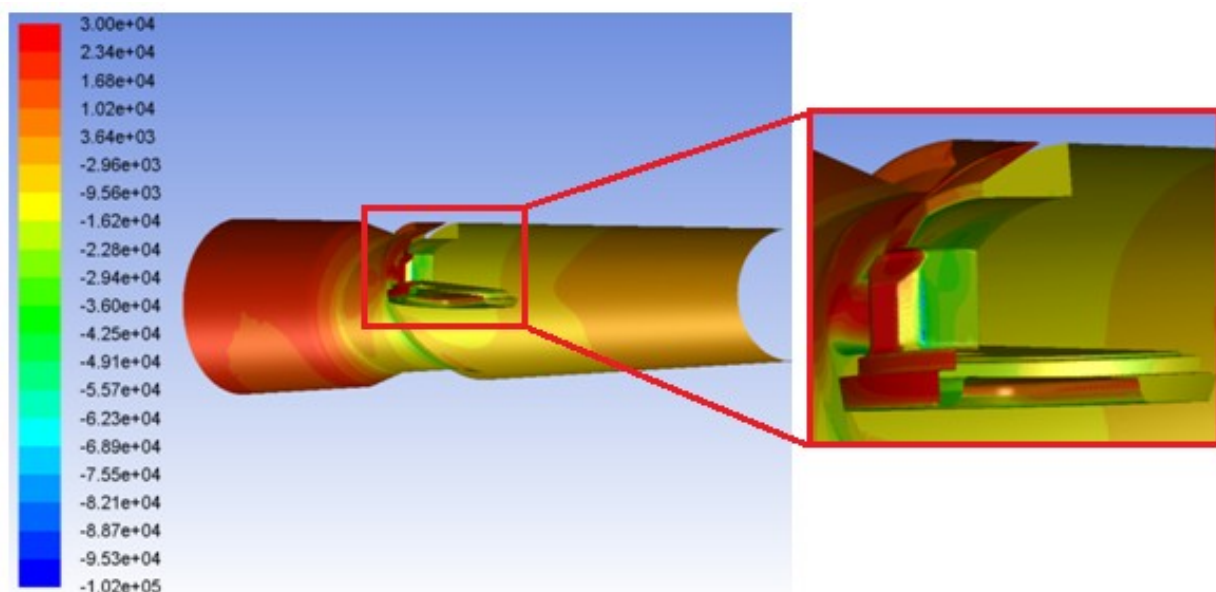


Obr. 6.6. Vektory rychlostí pro armaturu na symetrii s detailem zpětného proudění

Vyhodnocená byla i stěnová funkce pomocí středních hodnot integrálů (Surface integral). Standardní stěnová funkce je definována pro $y^+ > 30$. Stěnová funkce dosahuje hodnot $y^+ = 65,88[1]$.

U statického tlaku se objevil problém, který je spojen s velkým poklesem tlaku do oblasti kavitace. Oblast kavitace je vidět na obrázku (Obr. 6.7) na stěnách „Wall“ Minimum

statického tlaku je $p_{min} = -101\,933$ [Pa], který odpovídá oblasti kavitace. Maximální tlak je $p_{max} = 30\,032$ [Pa].



Obr. 6.7. Statický tlak pro všechny stěny typu „wall“ s detailem klapky

Problém kavitace bude řešen optimalizací pomocí citu tzv. „Pokus omyl“.

7. Optimalizace prvků

Optimalizace je činnost sloužící k docílení lepších vlastností a tvaru u zkoumané geometrie. [13] [17] Optimalizovat lze geometrii s využitím gradientové metody, které ANSYS využívá. Program pracuje s více možnostmi nastavení pro změnu tvaru (modifikace tvaru s využitím proměnných). Jedna z variant je použita v kap. 5.1 jako optimalizace válce. V ANSYS Fluent je optimalizačním nástrojem Adjoint Solver.

Adjoint Solver je zabudovaný v programu ANSYS a pracuje s využitím gradientové metody. Využívá různých typů proměnných pro optimalizaci, které jsou následující:

- a. Síla
- b. Moment od síly
- c. Tlakový spád
- d. Víry atd.

Optimalizovat lze s využitím optimalizačních nástrojů, nebo využít optimalizační metody pokus omyl. Metoda pokus omyl pracuje s citem a zkušenostmi výpočtáře. Metoda je dnes doplněna o výhodu, že může být geometrie odzkoušena v ANSYS Fluent, zda optimalizovaná geometrie vykazuje snižování hledané proměnné.

Ruční optimalizace u této práce je využito pro sloupek, který nelze řešit jinak.

7.1. Optimalizace sloupku

Optimalizace sloupku bude provedena s cílem zabránit vzniku kavitace u sloupku klapky. Kavítace u sloupku je detailně popsána v kapitole 6.5. Důležité je nalézt řešení, které efektivně zvýší tlakové minimum nad oblast kavitace.

Využívanými výstupy jsou statický tlak a rychlost kapaliny pomocí programu ANSYS Fluent. Důležité je poukázat na zvyšující se trend tlakového pole v oblasti sloupku.

Pro optimalizaci se vychází z literárních poznatků prof. Janalíka [15], kde je popsáno, že při obtékání těles jsou ostré hrany problémem. Optimalizace je vedena na změnu tvaru (úpravu) sloupku. Důležité je podotknout, že ruční optimalizace je velmi zdlouhavá a časově náročná. Náročná protože každá změna nemusí vést k úspěchu a musí se začínat mnohdy od samotného počátku. Z těchto důvodů bylo přistoupeno pouze ke dvěma modifikacím tvaru.

Tvary pro ruční optimalizaci jsou voleny následovným způsobem:

- a. Změna úkosu na rádius $R_p = 12$ [mm]
- b. Změna rádiusu na zaoblený profil

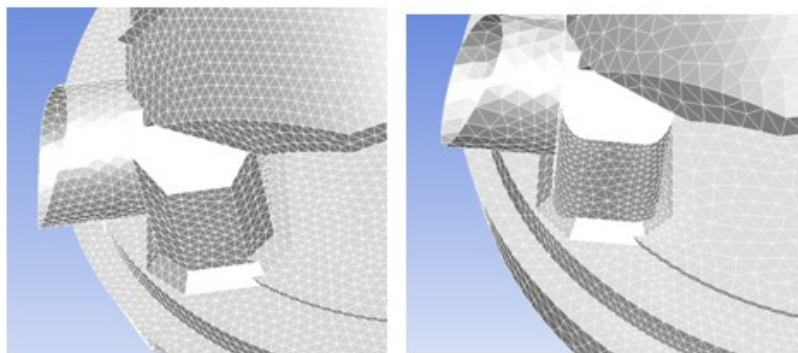
Důležitou podmínkou pro ruční optimalizaci je dodržení pevnostních podmínek pro klapku. Úpravy proto vedly k minimálnímu posunutí těžiště, které je důležité pro dynamiku uzavírání modelu zpětné klapky.

7.1.1. Změna úkosu za rádius R12

Geometrie sloupku je sražená technologickým úkosem s hodnotami $a = 13 \times 45^\circ$.

Optimalizovat geometrii pomocí Adjoint Solverem není možné. Adjoint Solver nepracuje s pevnostními podmínkami, kterých je zde zapotřebí. Program nevlastní funkci, která by korigovala změnu geometrie v závislosti na pevnostním kritériu.

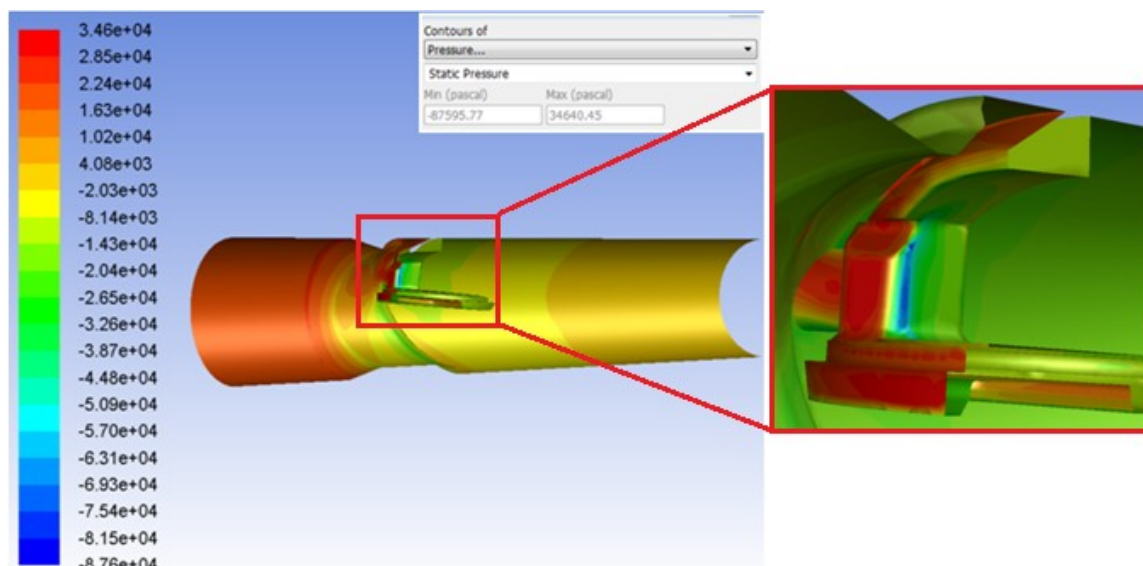
První změna se týká úkosu na rádius s výslednou hodnotou rádiusu $R_p = 12$ [mm]. Změnu geometrie lze vidět na obrázku (Obr. 7.1), kde na levé straně je základní tvar s úkosem $a = 14 \times 45^\circ$. Oproti tomu na straně pravé je geometrie s rádiusem o hodnotě $R_p = 12$ [mm].



Obr. 7.1. Porovnání změny úkosu (vlevo) za rádius (vpravo)

Proveden byl základní výpočet se stejným nastavením jako u základního modelu. Počet elementů je 1 100 000 s využitím šestistěnnů (inflation) kolem stěn a klapky. Okrajové podmínky byly nastaveny stejné jako u základního modelu. Takto nastavený model dosáhl konvergence.

Výsledek statického tlaku na stěnách „Wall“ lze vidět na obrázku (Obr. 7.2), kde je dosaženo zvýšení tlaku z hodnoty $p_{ukos} = -101\,933$ [Pa] na $p_{rad} = -87\,596$ [Pa]. Hodnota tlaku na výstupu dosahuje přírůstku o 4 600 [Pa]. Lze tedy konstatovat, že změnou úkosu na rádius nebude geometrie vystavena kavitaci.

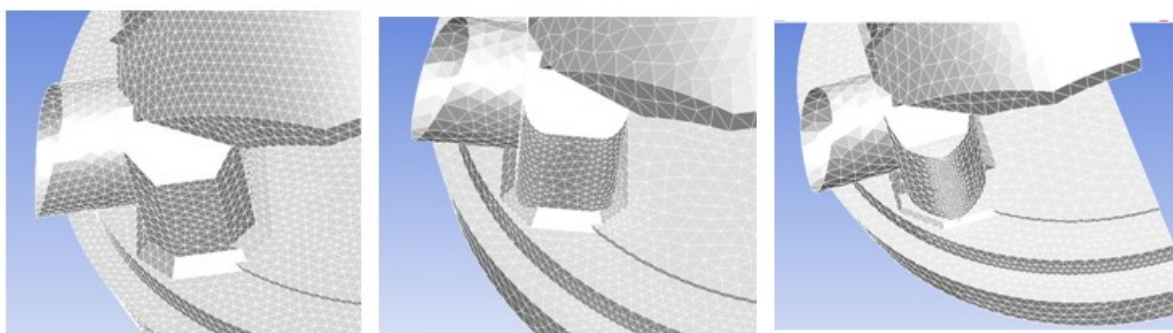


Obr. 7.2. Vyhodnocení statického tlaku pro model se zaoblením u sloupku s detailem klapky

Pokračováním ruční optimalizace bude pokus o snížení statického tlaku pro obtékání zaoblený profil porovnaný s geometrií rádiusu.

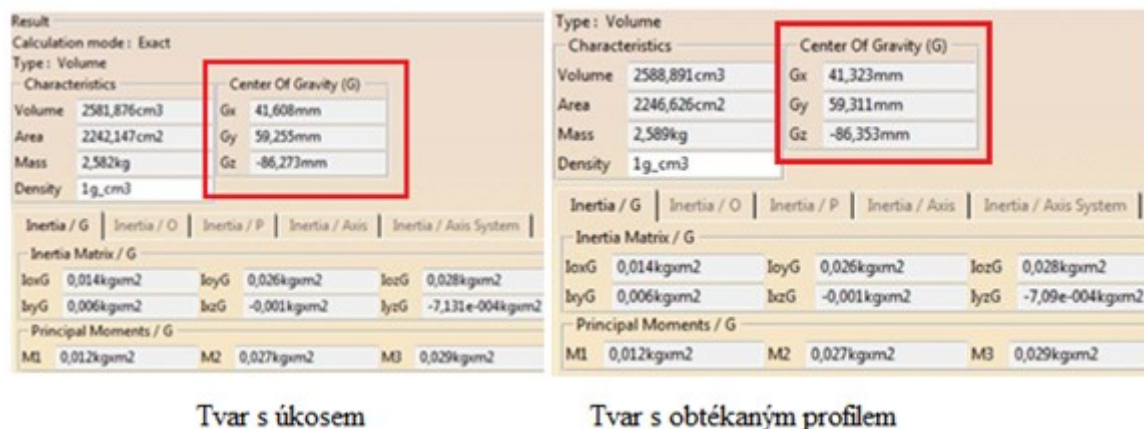
7.1.2. Změna rádiusu na zaoblený profil

Cílem je odzkoušet snížení tlaku mimo oblast vzniku kavitace u zaobleného profilu. Změna geometrie je zobrazena na obrázku (Obr. 7.3). Poslední v řadě obrázků je úprava na zaoblený profil. Ten má nejlépe usměrňovat tok kapaliny a nevystavit geometrii kavitaci.



Obr. 7.3. Zobrazení postupné změny sloupku (Z levo) úkos, rádius a zaoblený profil.

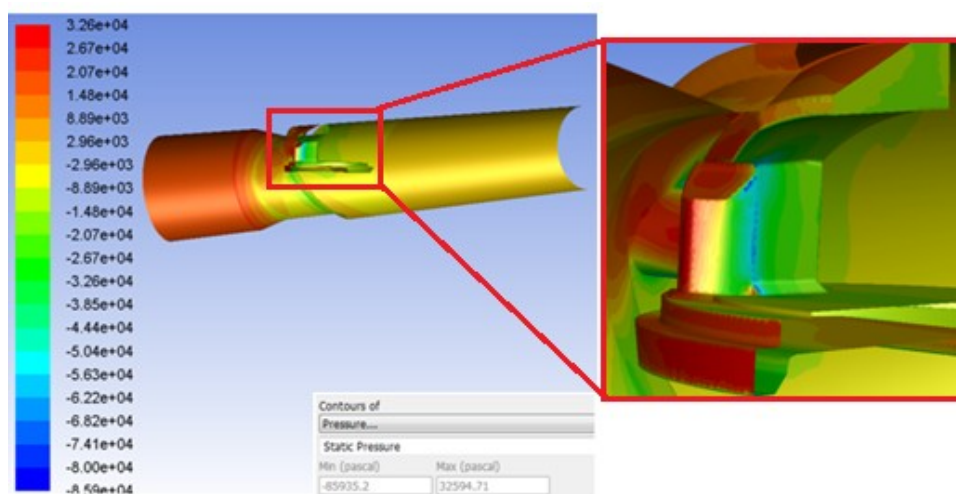
Navržená geometrie musí vykazovat stejné pevnostní parametry jako výchozí geometrie. Důležitým parametrem je posun těžiště. Těžiště by mělo být neměnné z důležitosti pro hydrodynamickou vztlakovou sílu, která napomáhá při uzavírání klapky. Změna těžiště by mohla způsobit nevývažek a tím rozkmit soustavy. Těžištní parametry jsou vidět na obrázku (Obr. 7.4), na kterém je těžiště vyznačeno červeným rámečkem.



Obr. 7.4. Parametry těžiště pro změny geometrie sloupku (Z leva) tvar s úkosem a na straně pravé obtékaný profil.

Pro geometrii byl vytvořen matematický model s výpočetní sítí v počtu 1 038 300 elementů s využitím šestistěnnů (inflation) kolem klapky a stěny. Okrajové podmínky byly zadány stejné jako u základního modelu. Takto nastavený model vedl ke konvergenci.

Grafické zobrazení statického tlaku pomocí kontur lze vidět na snímku (Obr. 7.5)



Obr. 7.5. Statický tlak vyhodnocený pro stěny obtékaného sloupku (sloupek zaobleného profilu)

Výsledkem je snížení tlaku oproti původnímu stavu o cca 1 600 [Pa]. Při detailním zobrazení sloupku si lze povšimnout, že obtékání sloupku je hladší a výsledný obtékaný profil je plynulejší. Dále by bylo dobré upravovat ostré hrany, které při úpravách modelu vznikly.

Lze konstatovat, že ruční optimalizace ukázala trend snižování tlakového minima do oblasti podtlaku nikoli však kavitace. Cesta za dokonalým tvarem je zdoluhavá a dosažené řešení je pouze nastíněním metodiky pro ruční optimalizaci sloupku.

Dalším krokem je modifikace tvaru difusoru s využitím Adjungovaného řešiče.

8. Metodika Adjoint Solveru

Adjoint Solver je optimalizační nástroj. Důležitými parametry pro tuto úlohu jsou matematické rovnice, kterých je využíváno pro optimalizaci a změnu tvaru. Kriteria, která jsou nutná pro práci Adjoint Solveru lze najít v kapitole 4.

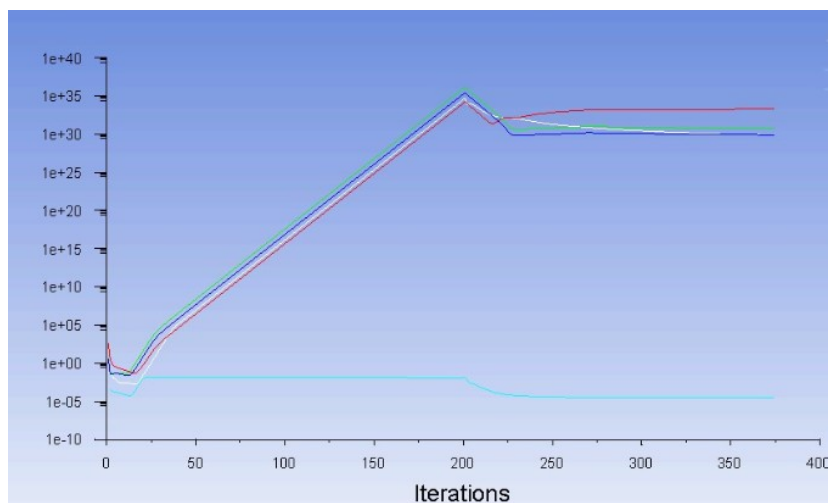
Nastavení Adjoint Solveru, které jsou využity pro modifikaci tvaru:

- a. Observables
- b. Methods
- c. Solver Controls
- d. Monitors
- e. Calculate
- f. Design Tool

Tyto jednotlivé možnosti nastavení Adjoint Solveru jsou detailně popsány v diplomové práci Ing. Šoltýse [17]. Nastavení programu je klíčové pro optimalizaci. Důležitým parametrem ovlivňující optimalizaci je viskozita a hustota kapaliny. Optimalizace zpětné klapky s využitím Adjoint Solveru je složitá vlivem zavírání kapaliny způsobené obtékáním klapky.

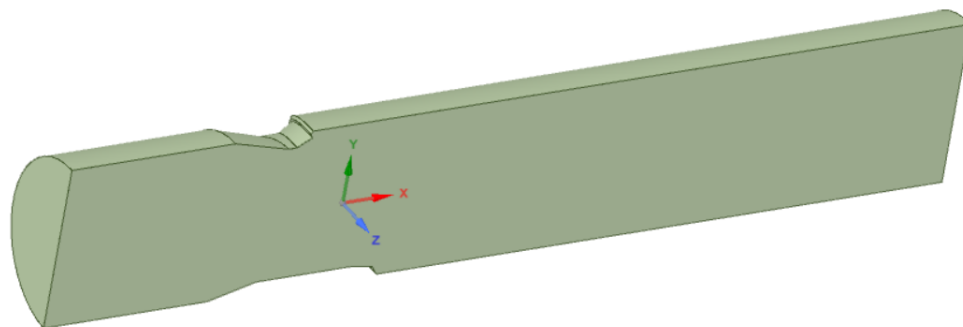
8.1. Úprava geometrie pro optimalizaci difusoru

Výpočet Adjoint Solveru vedl k nestabilnímu výsledku, který je zobrazen na obrázku (Obr. 8.1). U výpočtu, lze předpokládat divergence díky klapce a nelze tak najít řešení pro proměnnou tlakového spádu, proto musí dojít k odstranění klapky, aby mohl být optimalizovaný difusor. Vytvoří se tak geometrie, která obsahuje pouze průtočný tvar bez klapky.



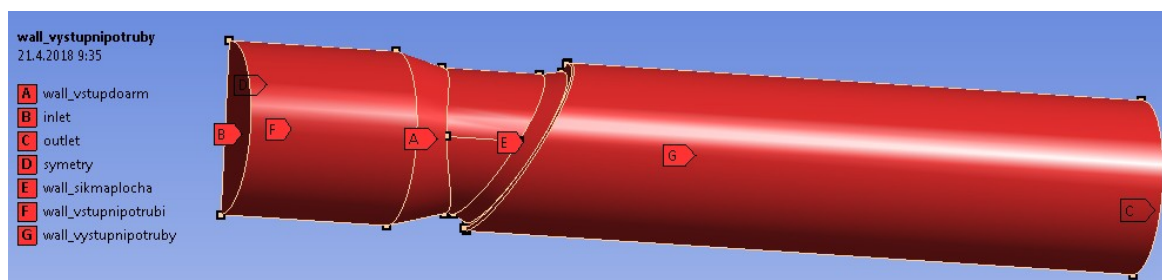
Obr. 8.1. Průběh residuálů divergentního systému adjungovaného řešiče

Nová geometrie obsahuje průtočný tvar bez odporu (klapky), kterou lze vidět na obrázku (Obr. 8.2). Na tomto obrázku došlo k vyhlazení boční stěny po otvoru s čepem.



Obr. 8.2. Upravená geometrie armatury pro optimalizaci difusoru

Úpravou geometrie musela být znovu vytvořena výpočetní síť s nastavením mat. modelu. Výpočetní síť byla tvořena 1 081 419 elementy včetně šestistěnnů (inflation) u stěny. Okrajové podmínky byly nastaveny dle tabulky (Tab. 6.2). Okrajové podmínky lze vidět na obrázku (Obr. 8.3).



Obr. 8.3. Okrajové podmínky pro optimalizaci difusoru (těleso bez klapky)

Úloha s tímto nastavením dosáhla konvergence, a mohlo tedy dojít k optimalizaci části difusoru.

8.2. Adjungovaný výpočet pro model bez klapky

Po konvergenci základního výpočtu lze optimalizovat tvar difusoru. Adjoint Solver lze otevřít v menu ANSYS Fluent pod názvem „Design“. V tomto menu jsou funkce, které ovlivňují Adjungovaný výpočet.

8.2.1. Observable (Proměnná)

Touto funkcí se definuje proměnná, kterou chceme vyhodnocovat, a měnit tvar na základě výsledků proměnné. Proměnnou je tlakový spád, který je zde pojmenovaný jako „Pressure – drop“.

Definování tlakového spádu se provede následovně:

- Výběr „Manage“. (úpravy nebo vytvoření proměnné).
- Výběr „Create“ pro vytvoření (tlakový spád)
- Definování vstupu a výstupu (Inlet a Outlet)
- Vypsání výsledku pro proměnnou pomocí „Evaluate“.

Po těchto krocích je možné zvolit, zda proměnnou chceme minimalizovat nebo maximalizovat. V tomto případě se tlakový spád má minimalizovat.

8.2.2. Výpočetní metody „Method“

Na počátku je nastavení tlaku voleno jako standardní spolu s momentem prvního řádu. Pro další případy úloh se dají metody měnit a sledovat vlastní průběh konvergence Adjoint Solveru.

V tomto případě nedošlo ke změně předdefinovaných parametrů.

8.2.3. Řešení modelu „Solver Controls“

Pomocí těchto nastavení lze ovlivnit konvergenci úlohy především pomocí tzv. relaxačních parametrů. Relaxační parametry vedou úlohu k hladší konvergenci. Zkoumání a ověřování relaxačních parametrů je časově velmi náročné. Využití relaxačních parametrů není doporučeno a je vhodné pracovat s předdefinovanými hodnotami.

V tomto zadání lze vybrat následující čtyři varianty:

- a. Solution – based Control Initalization – řešení založené na inicializaci
- b. Auto – Adjust Controls – automatické hledání řešení programem (změna parametrů programem vedoucí ke konvergenci Adjoint Solver)
- c. Use stabilized Scheme – použití stabilizačního schématu
- d. Show Advancement Controls – zobrazení pomocných parametrů (relaxační parametry)

Vhodné je mít zatrhnuté a, b a c. Pokud řešení sklouzne k nestabilnímu, program automaticky zapne stabilizační schémata a zkusí divergenci zvrátit. Ne vždy zapnutí stabilizace pomáhá ke konvergenci.

8.2.4. Hranice konvergence „Monitors“

Důležitá je zde kontrola přesnosti pro hledané řešení na základě požadavku. Nejdůležitější části jsou následující:

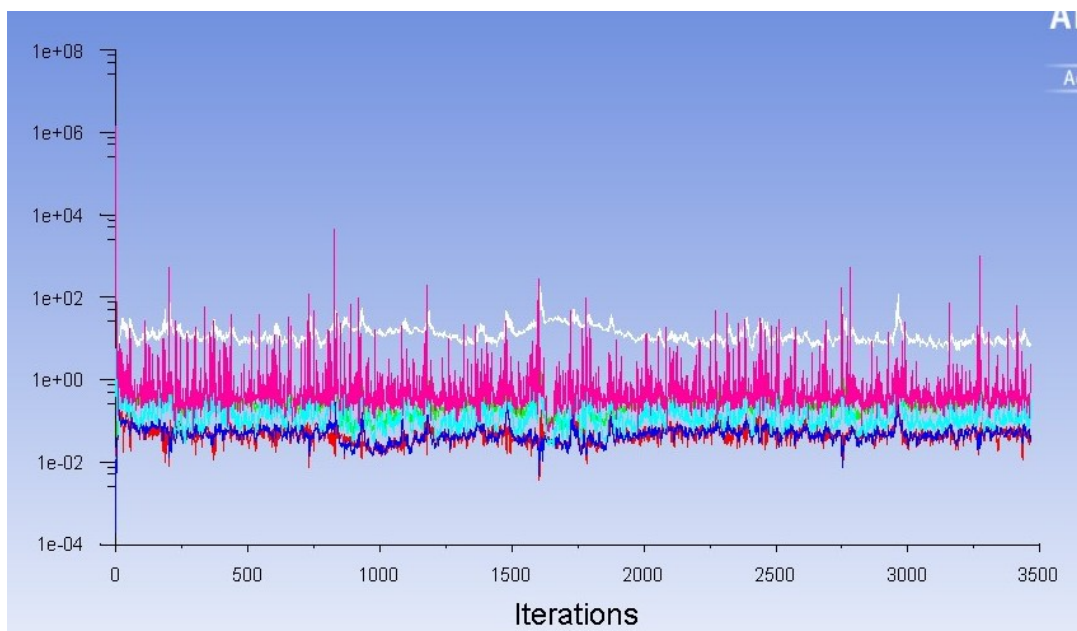
- a. Tlak
- b. Rychlost
- c. Průtok tekutiny

Konvergence je považována za správnou s dosažením hledané přesnosti pod $1 \cdot 10^{-5}$. V některých případech je možné považovat výsledek za přijatelný po dosažení přesnosti $1 \cdot 10^{-3}$. Vede-li úloha ke konvergenci, je vhodné zachovat základní přesnosti.

8.2.5. Výpočet „Calculation“

V tomto menu se volí počet iterací s následnou inicializací a spuštěním výpočtu. Pokud model vede k divergenci, je nutné výpočet přerušit. Divergující model je třeba upravit tak, aby po úpravě výpočet vedl ke konvergenci.

Program i přes snahu a změnu parametrů nemohl najít konvergenci. Po 3500 iteracích nevedla úloha ke konvergenci i přes zapnuté stabilizační schéma. Konvergence není dosaženo vlivem obtékání klapky se vznikem vírové cesty za prvkem. Oscilující residuály lze vidět na obrázku (Obr. 8.4)



Obr. 8.4. Oscilující řešení Adjungovaného řešiče nedosahující konvergence

Z těchto důvodů bude optimalizace provedena se změnou fyzikálních parametrů kapaliny. Kapalina pro matematický model není překážkou.

8.3. Modifikace viskozity proudícího media

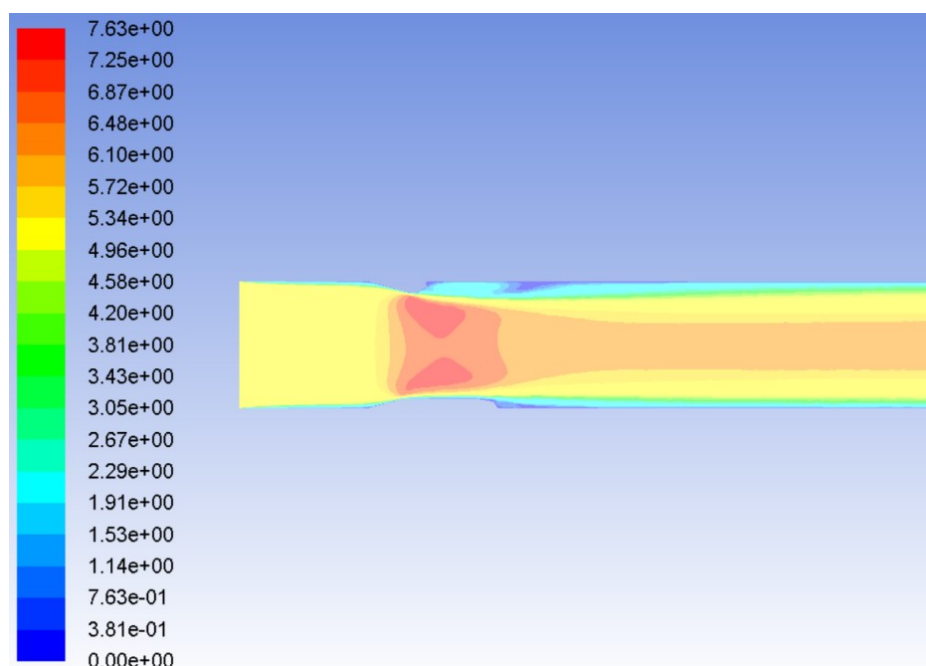
Změnou viskozity se model dostane do oblasti laminárního proudění s velmi malým Reynoldsovým číslem, které se vyznačuje hladkým obtékáním stěn bez vytváření vírových cest.

Změna dynamické viskozity byla provedena z $\eta = 0.001003$ na $\eta = 1$. Touto úpravou se matematický model posouvá z oblasti plně vyvinutého turbulentního proudění do oblasti mezního laminárního proudění dle vzorce:

$$- \text{Reynoldsovo číslo: } Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{5 \cdot 0,2}{1} = 1 \quad [1] \quad (\text{rov.8.1})$$

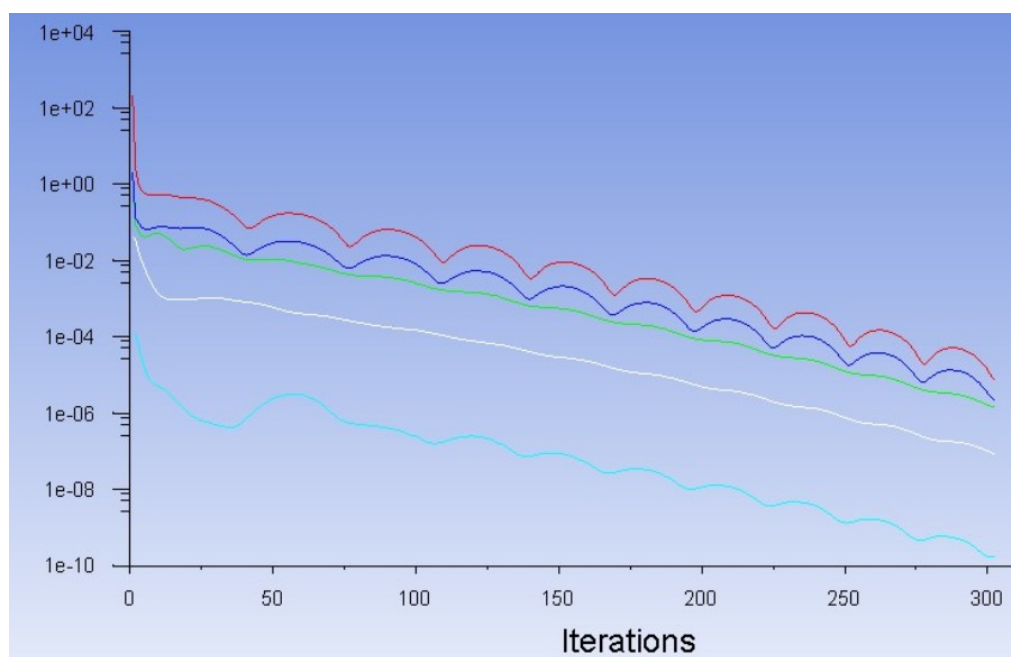
Změnu viskozity lze provést pouze s podmínkou, že optimalizovaný tvar lze zpětně exportovat do 3D softwaru. Po exportování tvaru je třeba nastavit reálné okrajové podmínky a vypočítat změnu oproti původnímu stavu. Exportování optimalizované geometrie bylo ověřeno v kap. 5.1.

Změna viskozity se provede u vodního media, a je změřená více jak stokrát. Se změnou viskozity je důležité změnit matematický model. Na obrázku (Obr. 8.5) je vidět změna obtékání klapky vlivem laminárního proudění.



Obr. 8.5. Rychlostní profil obtékání na ploše symetrie.

Po nastavení modelu byl proveden Adjungovaný výpočet dle kapitoly 8.2.1 až 8.2.3, který vedl ke konvergenci. Konvergence je vidět na obrázku (Obr. 8.6).



Obr. 8.6. Konvergence Adjoint Solveru po změně viskozity

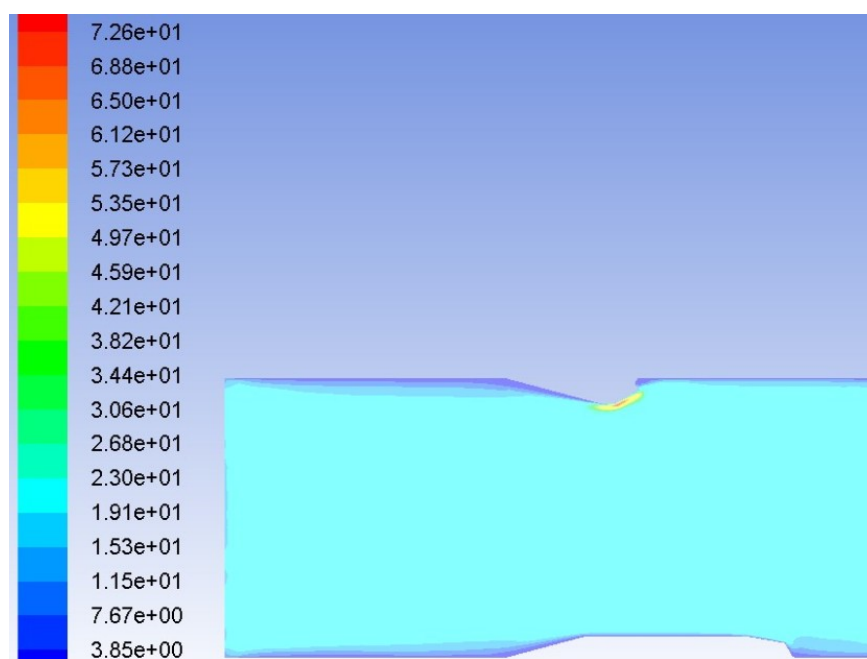
9. Optimalizace difusoru

Pro optimalizaci je důležité dosáhnout konvergentního řešení Adjoint Solveru. Optimalizace se provádí na základě gradientové metody s výběrem okrajových podmínek pro změnu. Výběrem okrajových podmínek se dosáhne optimalizování oblasti, která je zvolená pomocí ploch. Modifikace tvaru je provedena na základě citlivostní analýzy.

Citlivostní analýza je k dispozici v ANSYS Fluent v „Postprocessing“. Cesta k vyhodnocení je následující:

Postprocessing=> Contours => Contours of Sensitivities => Sensitivity to body Force X-component.

Citlivostní analýzu lze vidět na obrázku (Obr. 9.1), která ukazuje, že program vyhodnotil k optimalizaci plochu dosedacího sedla. Tato plocha je v požadavcích jako pevná a nesmí být upravována ani změněna.



Obr. 9.1. Sensitivita na ploše symetrie.

Optimalizace difusoru bude mít také vliv na změnu tlakového spádu. Optimalizací difusoru bude vytvořen model s nižší energetickou náročností. Změna difusoru bude mít vliv na obtékání sloupku, který pomůže problému vzniku kavitace.

Přechodem do menu „Design“ a prostředí „Design Tool“ lze provést nastavení pro modifikaci tvaru na základě proměnné.

9.1. Nastavení nástrojů „Design Tool“

Funkce nástrojů vede k výpočtu zvolené proměnné a modifikaci tvaru. Zde v této kapitole bude popsána metodika práce s nastavením „Design Tool“.

Nastavení menu se skládá ze čtyř kroků a ty jsou následující:

- a. Výběr a nastavení oblasti pro změnu (velikost oblasti)
- b. Objekt zájmu
- c. Nastavení zón k modifikaci
- d. Volba parametru (Scale faktor) a výpočet grafické změny

Nastavení pro tyto jednotlivé oblasti jsou velmi důležité pro modifikaci tvaru.

– Výběr a nastavení oblasti pro změnu

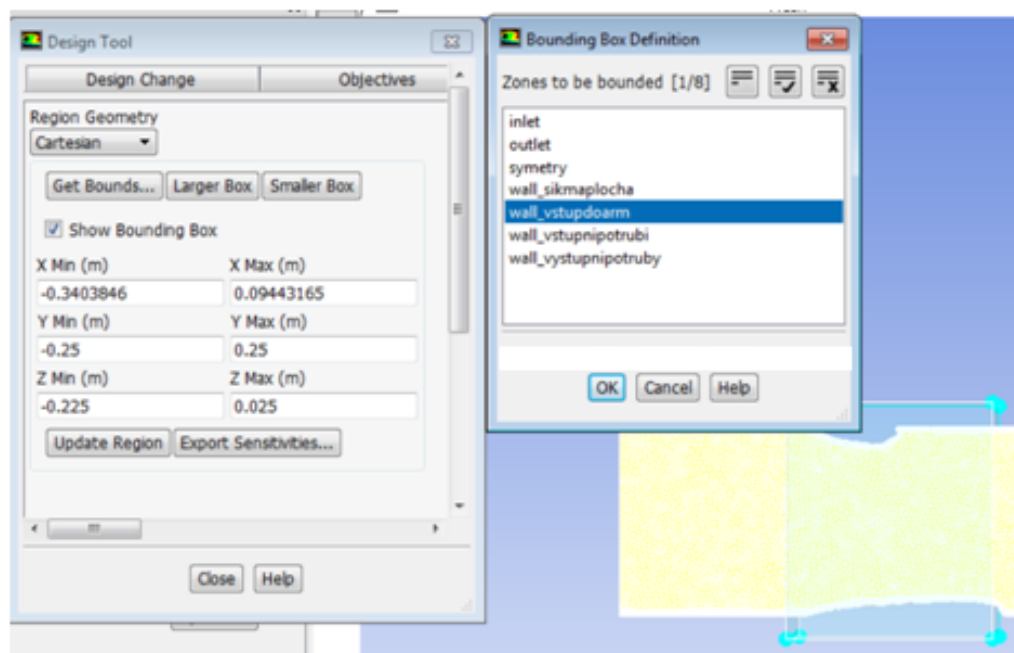
Definování hranice slouží k modifikaci tvaru armatury. Kolem plochy nebo hrany se vytvoří box (čtverec nebo obdélník). Box slouží k definování minimální a maximální hranice pro změnu tvaru.

Samotný výběr hran se provede pomocí cesty:

Design => Design Tool => Region => Get Bounds

V tomto případě je vybrána okrajová podmínka difusor včetně válcové plochy pojmenována jako „wall_vstupdoarm“.

Definováním okrajové podmínky se automaticky upraví rozměr oblasti. Velikost boxu lze vidět, pomocí příkazu „Display“. V tomto případě je výhodné používat funkci středního boxu a poté potvrdit pomocí „Update Region“. Všechny tyto kroky lze vidět na obrázku (Obr. 9.2).



Obr. 9.2. Nastavení a výběr velikosti oblasti

– **Objekt zájmu „Objectives“**

Proměnnou pro úlohu je tlakový spád, který je v ANSYS Fluent pojmenovaný jako „Pressure – drop“. Tlakový spád lze vyhodnotit pomocí Adjoint Solveru. V této části jsou na výběr čtyři následující varianty:

- a. Zvýšit hodnotu
- b. Snížit hodnotu
- c. Cílová změna hodnoty
- d. Žádná

První varianta má tlakový spád prvku zvýšit. Druhou variantou je snížení hodnoty tlakového spádu, která lze využít. Doporučuje se využívat třetí a nejvíce užívané změny. Čtvrtá varianta se nevyužívá.

V tomto případě je vybrána třetí možnost, která otevře pole s definováním hodnoty cíle nebo pevné změny pro optimalizaci. Do pole se vepíše konstantní hodnota -10 s procentuální změnou.

– **Volba parametru (Scale faktor) a samotný výpočet grafické změny**

Nastavení okrajové podmínky, velikosti boxu a změny proměnné (Objektive) jsou hlavní podmínkou pro optimalizaci. Záložka je pojmenována jako „Design Change“.

V levém rohu se nachází okrajové podmínky, které se modifikují. V pravém rohu se nachází okno s měřítkem změny tzv. „Freeform Scale Factor“. Faktor ovlivňuje velikost vypočítané změny. Nejdůležitějšími jsou následující tři ikony:

- a. Kontrola
- b. Výpočet grafické změny
- c. Modifikace tvaru (sítě)

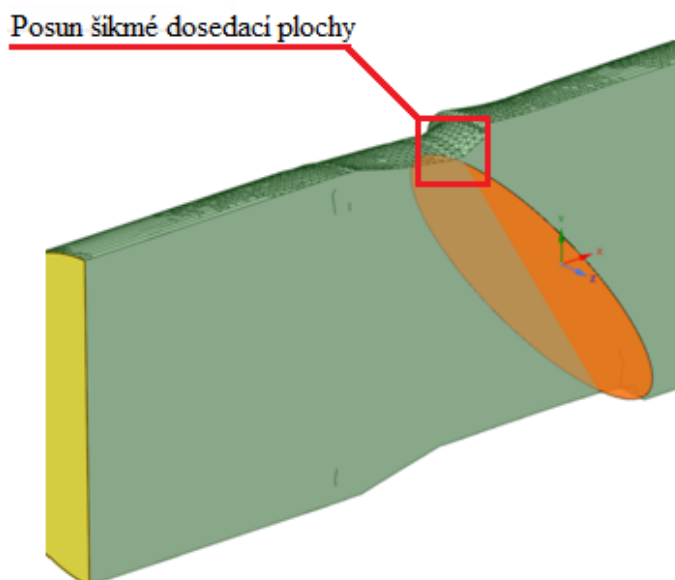
Výsledkem pro kontrolu je v příkazovém řádku „DONE“. Výpočet grafické změny vypočítá změnu proměnné na základě měřítka. Výsledkem je výpočet změny tlakového spádu v celé armatuře na základě vybrané okrajové podmínky, která je pojmenována jako „wall_vstupdoarm“.

9.2. Deformace dosedací plochy

Předpokládané změny tlakového spádu dosahovaly hodnot 700 – 1000 [Pa]. Problém nastal u konvergence pevných stěn, kdy 5 iterací nenašlo řešení pro pevné stěny. Nekonvergenčí došlo ke špatnému výpočtu předpokládané změny tlakového spádu.

Výpočtem změny tlakového spádu byla následně změněna síť ikonou „Modify mesh“. Po modifikaci lze změnu sítě překontrolovat pomocí příkazu „Display“. Po ověření správnosti změny byl proveden standardní výpočet s následnou druhou optimalizací, u které se více ukázal problém nekonvergence pevných stěn.

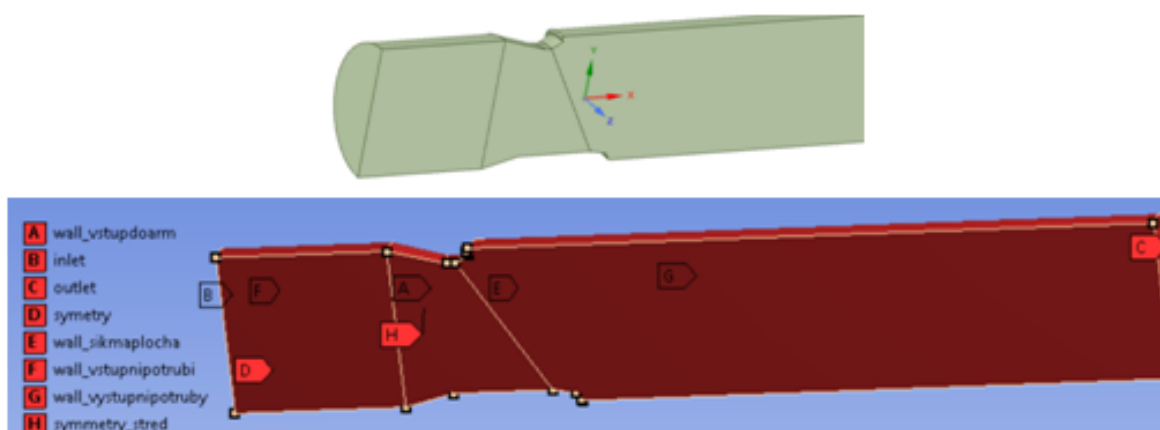
Po standardním výpočtu došlo k exportu geometrie do programu SpaceClaim dle kapitoly 5.1. Exportování prokázalo, že nekonvergenčí pro pevné stěny si program se stěnami libovolně hýbal. Toto vedlo k posunutí dosedací plochy, která je patrná z obrázku (Obr. 9.3). Exportovanou geometrií byla proložena kružnice o poloměru šikmého dosedacího sedla, tak aby se deformace spolehlivě projevila.



Obr. 9.3. Posun šikmé plochy vlivem nekonvergence pevných stěn

Sekundárním problémem optimalizace je nedeformování plochy symetrie. Optimalizace vykazala deformaci spolu s poklesem tlakového spádu, ale po standardním výpočtu předpokládaná změna nedosahovala prvotních úspěchů. Při optimalizaci se plocha symetrie nezměnila a hrana difusoru působila minimální změnu tlakového spádu i přes změnu válcové plochy.

Optimalizace musí být tedy provedena pro stěnu „wall_vstupdoarm“ spolu s plochou symetrie, která byla rozdělena s ohledem na válcovou stěnu. Rozdělení plochy symetrie bylo provedeno pomocí SpaceClaimu spolu s popisem okrajových podmínek, které lze vidět na obrázku (Obr. 9.4).



Obr. 9.4. Změna symetrie(Nahoře) a okrajové podmínky (Dole)

Spolu se změnou modelu byla provedena modifikace viskozity a spuštění klasický výpočet proudění, který dosáhl konvergence spolu s adjungovaným řešitelem. Konvergence pro pevné stěny se dosáhne následující cestou:

ANSYS Fluent => Design => Design Tool => Numerics => Max. Iterations

Nastavená hodnota je pevně dána na pět iterací. Se změnou počtu iterací se musí počítat s mnohonásobně delším výpočtem změny tlakového spádu na základě Scale faktoru.

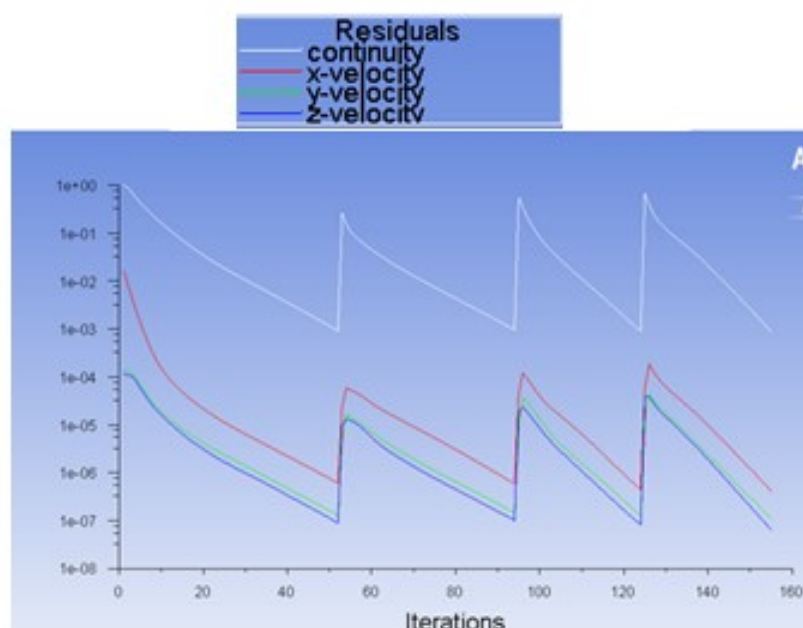
Je velmi důležité najít konvergenci pro pevné stěny u každého příkladu. Konvergence pro pevné stěny změnou počtem iterací bylo dosaženo. Výpočet tlakového spádu se liší v závislosti na konvergenci pevných stěn.

9.3. Změna tvaru difusoru

Tvar dosedacího sedla je dle společností ARMATURY Group a.s. neměnný a nesmí se deformovat, a ani posouvat. Matematický model vykazoval velké hodnoty u změny tlakového spádu. Nebylo možné se dostat pod hodnotu 700 [Pa], proto byla změněna hodnota z 10 % na 5 %.

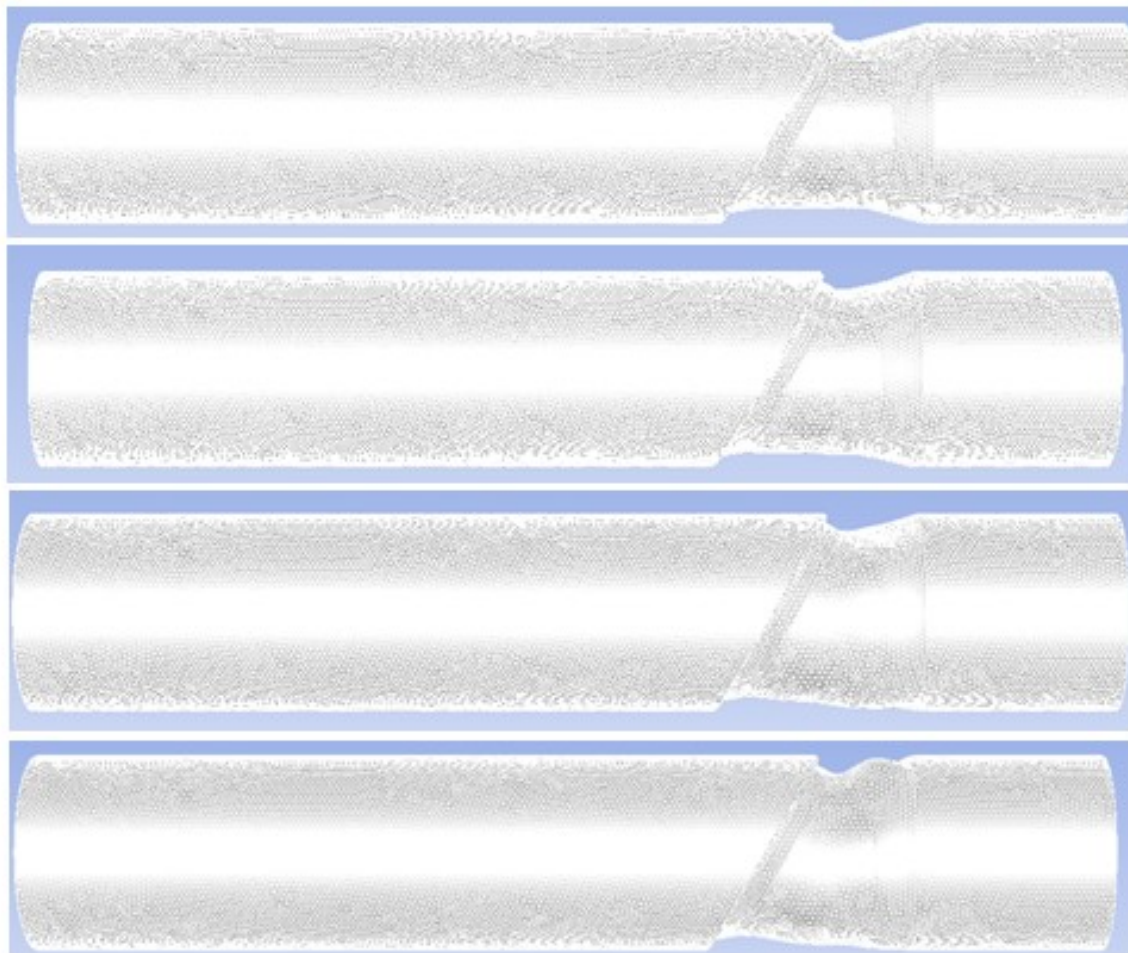
Na základě této změny byla provedena optimalizace snížením tlakového spádu pro stěnu symetrie i plochu difusoru pro 510 [Pa], která není příliš velká, ale ušetřením každého pascalu dosáhne systém lepší účinnosti.

Provedeny byly tři optimalizační kroky. Konvergenci tří optimalizačních kroků lze vidět na obrázku (Obr. 9.5).



Obr. 9.5. Konvergence pro tři optimalizační kroky včetně základního výpočtu proudění

Na obrázku (Obr. 9.6) jsou vidět tři optimalizované tvary spolu se základním tvarem. Na poslední změně tvaru došlo ke zborcení geometrie, které není přípustné.



Obr. 9.6. Postupná modifikace tvaru od základního tvaru (Nahoře) po zhroucení (Dole)

Na obrázku (Obr. 9.6) lze vidět, že do druhého optimalizačního kroku je deformace difusoru pozvolná a plynulá. Ve třetím optimalizačním kroku řešení sklouzne k nepředpokládanému a nereálnému výsledku. Deformovaný tvar jeví známky zvyšování tlakového spádu namísto snižování.

Z konstrukčních důvodů nelze měnit šikmou dosedací plochou a celkový rozměr armatury. Deformace je tedy způsobena vlivem malé deformační plochy u geometrie. Možností je posunout difusor včetně přírub ke vstupní okrajové podmínce a vytvořit tak prostor k optimalizaci.

Po zjištění optimalizovaného tvaru a posouzení jeho správnosti lze přistoupit k exportu součásti. Export součásti je proveden pro druhý optimalizační tvar s cílem dosadit do optimalizovaného tvaru reálné fyzikální vlastnosti media.

10. Zpětné dosazení klapky do modifikovaného tvaru

Optimalizovanou armaturu je třeba vyexportovat z Adjoint Solveru pro výpočet se skutečnými parametry. Celkové shrnutí exportu součásti, úpravy a importu součásti lze provést pomocí následujících kroků:

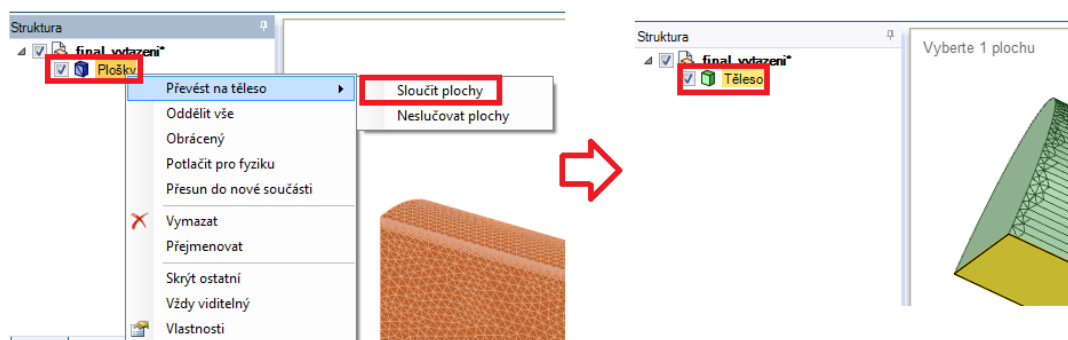
- Uložení geometrie ve formátu *.msh

Finální optimalizovaný tvar se exportuje následujícím způsobem:

File => write => Boundary Mesch => *.msh

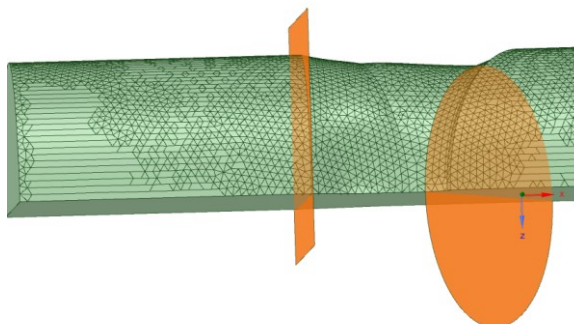
- Načtení *.msh do ANSYS Finite Element Modeler
- Pomocí F. E. M. formát *.msh uložit ve formátu *.stl
- Model upravit SpaceClaimem pro import do prostředí ANSYS Fluent
- Nastavit skutečné podmínky pro model a provést vyhodnocení

Po importování geometrie do SpaceClaimu je soubor tvořen z velmi malých plošek. Pravým tlačítkem se vybere funkce „Převést na těleso a sloučit plochy“. Tímto se vytvoří model a program jej upraví do vhodné podoby, která je vidět na obrázku (Obr. 10.1).



Obr. 10.1. Postup pro získání funkčního modelu ve SpaceClaimu

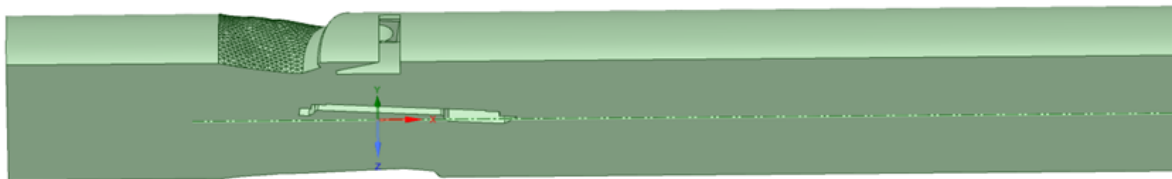
Kontrola posunu šikmé dosedací plochy byla ověřena pomocí šikmé roviny s poloměrem dosedací plochy. Ověření lze vidět na obrázku (Obr. 10.2)



Obr. 10.2. Kontrola posunu šikmé dosedací plochy.

Z obrázku (Obr. 10.2) vyplývá, že konvergencí pro pevné plochy se dále šikmá plocha nedeformuje.

Výsledek tvořený malými ploškami není dobrý, proto došlo k upravení geometrie. K optimalizovanému tvaru bylo připojeno potrubí o světlosti $D_n = 200$ [mm]. Vybrána byla klapka dle kapitoly 7.1.2 s následným vyseparováním jejího objemu dle přílohy [A], tak aby vznikl její obrys. Výsledná geometrie pro výpočet reálného tlakového spádu je vidět na obrázku (Obr. 10.3)



Obr. 10.3. Podoba upravené geometrie pro zpětné dosazení podmínek

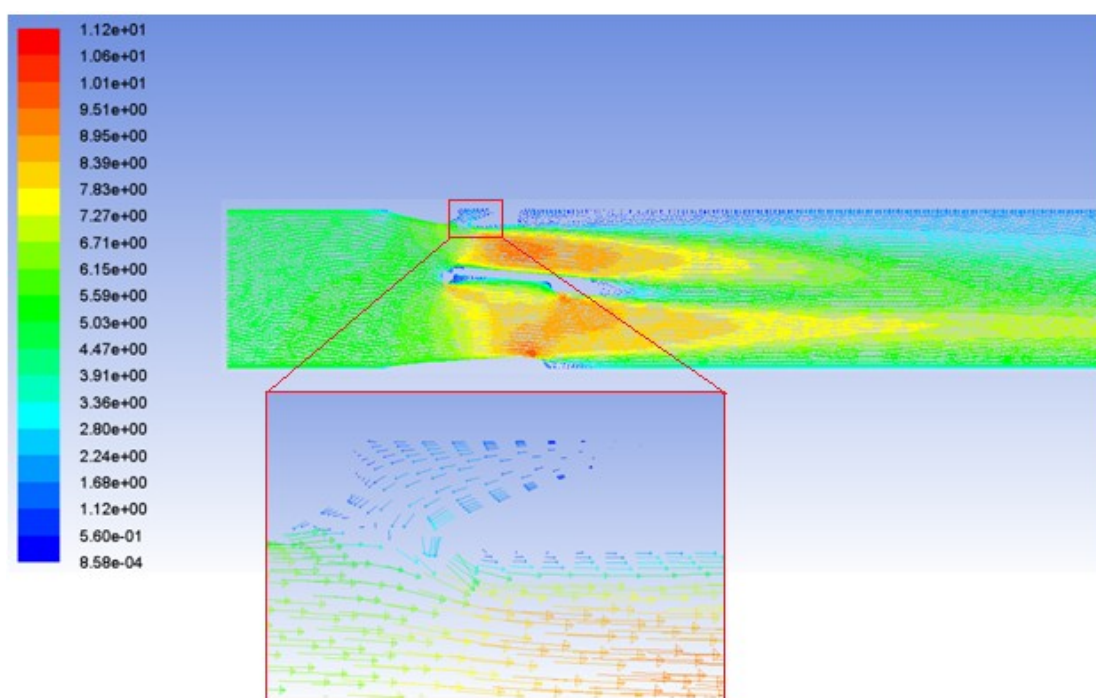
11. Výpočet pro optimalizovaný tvar se zpětnou klapkou

Výpočetní síť je nastavena se stejnými parametry jako u kap. 6.3. Výpočetní síť byla tvořena 1 338 334 elementy spolu s šestistěnou (inflation) kolem klapky a stěny. Okrajovými podmínkami zde byl vstup, výstup, symetrie a stěny, které byly zahrnuty do jednoho celku.

Výpočet proudění dosáhl konvergence. Po konvergenci úlohy bylo provedeno vyhodnocení vektorů rychlosti a statického tlaku na stěnách.

– Vektory rychlosti na stěně symetrie

Pro vyhodnocení vektorů rychlosti bylo využito plochy symetrie, která je vidět na obrázku (Obr. 11.1).

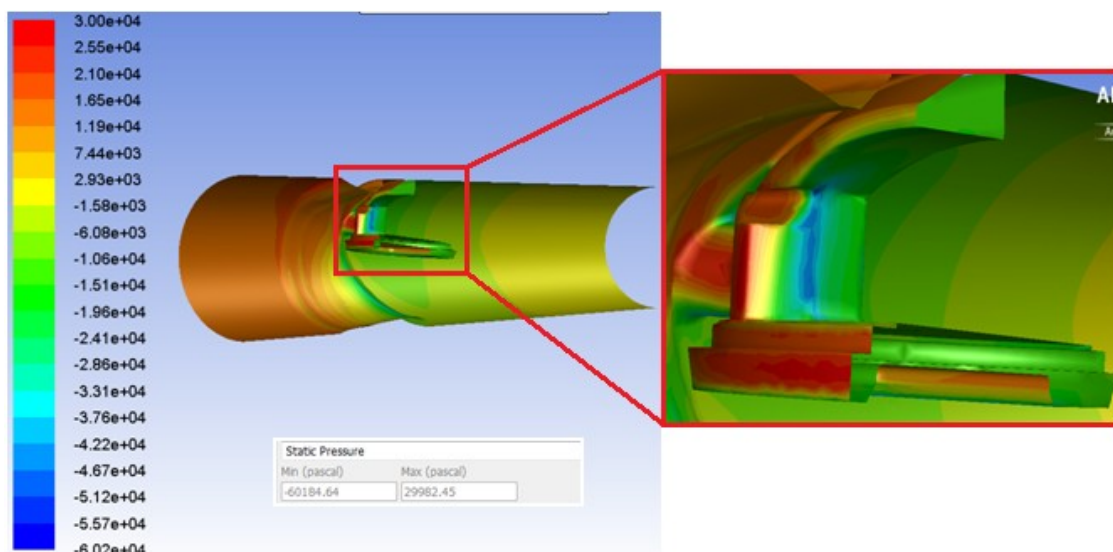


Obr. 11.1. Vyhodnocení vektorů s detailem proudění v problémovém místě

Grafické výstupy lze srovnat s obrázkem (Obr. 6.6) v kapitole 6.5. Ze srovnání je patrné, že rychlost v armatuře poklesla o $v = 1,1 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$.

– **Statický tlak**

Na stěnách (wall) byl vyhodnocen statický tlak pomocí kontūr, který je vidět na obrázku (Obr. 11.2).



Obr 11.2. Statický tlak na stěnách s detailem pro klapku v pravo

Výsledky statického tlaku pro optimalizovanou úlohu lze porovnat s výsledkem v kapitole 7.1.2, kde je zobrazen statický tlak pro optimalizovaný tvar sloupku. Srovnání pro statické minimální a maximální tlaky lze vidět v tabulce (Tab. 11.1).

Statický tlak p [Pa]	Minimální	Maximální
Základní výpočet	$p_{min} = - 101\,933$	$p_{max} = 30\,032$
Ruční optimalizace sloupku bez optimalizace difusoru	$p_{min} = - 85\,935,2$	$p_{max} = 32\,594,74$
Optimalizace difusoru s dosazeným optimalizovaným tvarem sloupku	$p_{min} = - 60\,184,6$	$p_{max} = 29\,982,5$

Tab.11.1.Srovnání minimálních a maximálních hodnot před a po optimalizaci

Optimalizací difusoru s optimalizovaným sloupkem bylo dosaženo zvýšení tlakového minima o $p \cong 25\,800$ [Pa] na celkovou hodnotu podtlaku $p_{min} = - 60\,184,6$ [Pa]. Na základě těchto kroků lze vyhodnotit celkový tlakový spád před optimalizací a po optimalizaci.

12. Tlakový spád na armatuře

Tlakový spád byl vyhodnocován pro skutečné varianty. Vypočítaný tlakový spád pomocí Adjoint Solveru pro každý optimalizační krok byl detailně popsán v práci ing. Šoltyse [17]. Z těchto důvodů bude tlakový spád brán pro varianty:

- Základní tvar s úkosem na sloupku
- Základní tvar s optimalizovaným sloupkem
- Optimalizovaný tvar difusoru s optimalizovaným sloupkem

Tlakový spád byl vyhodnocen pomocí základního vzorce popsaného rovnicí (rov. 12.1).

Tlakový spád: $\Delta p = p_1 - p_2$ [Pa] (rov. 12.1)

Z rovnice (rov. 12.1) pak veličina p_1 odpovídají střední hodnotě tlaku na vstupu a p_2 odpovídá střední hodnotě tlaku na výstupu. Výsledky tlakových spádů lze vidět v tabulce (Tab. 12.1).

Řešení tlakové difference dle normy ČSN EN 60534-2-3	p_1 [Pa]	p_2 [Pa]	$\Delta p = p_1 - p_2$ [Pa]	Odchylka [%]
Základní tvar s úkosem na sloupku	18 275,45	0	18 275,45	-
Základní tvar s optimalizovaným sloupkem	17 741,64	0	17 741,64	3
Optimalizovaný tvar difusoru s optimalizovaným sloupkem	15 584,51	0	15 584,51	17,3

Tab. 12.1. Vyhodnocení tlakového spádu s procentuální odchylkou vůči základnímu tvaru

Odchylky jsou vypočítány vždy pro základní tvar. Vyhodnocením těchto kroků lze přistoupit k vyhodnocení ztrátového součinitele.

13. Ztrátový součinitel

Popis včetně definice ztrátového součinitele lze najít v kapitole 2.3. Vyhodnocení ztrátového součinitele je provedeno pomocí rovnice (rov. 13.1) a nabídky:

Report => Result Reports => Surface Integrals => Total Pressure

$$\text{Ztrátový součinitel: } \zeta = \frac{p_{TOTvstup} - p_{TOTvystup}}{p_{DYNvstup}} [1] \quad (\text{rov. 13.1})$$

Ztrátový součinitel byl vyhodnocen pro všechny varianty stejně jako tlakový spád popsáný v kapitole 12. Totální a dynamické tlaky jsou popsány v tabulce (Tab. 13.1).

Totální a dynamický tlak pro výpočet ztrátového součinitele			
tlak p	Základní tvar s úkosem	Základní tvar s opt. sloupkem	Optim. tvar dif. s opt. sloupkem
[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
$p_{TOTvstup}$	30 748,44	30 211,11	28 059,26
$p_{TOTvystup}$	13 995,10	13 487,59	13 704,23
$p_{DYNvystup}$	13 995,58	13 482,57	13 705,46

Tab. 13.1. Vyhodnocení totálních a dynamických tlaků pro různé varianty

Vyhodnocení ztrátového součinitele je popsáno v tabulce (Tab. 13.2) na základě tabulky (Tab. 13.1) a rovnice (rov 13.1). Ve vyhodnocení je zahrnuta i procentuální změna ztrátového součinitele oproti původnímu stavu. Z těchto hodnot lze vidět, jak byla optimalizace úspěšná.

Vyhodnocení ztrátového součinitele		
Veličina	Ztrát. součinitel ζ	Změna
Jednotka	[1]	[%]
Základní tvar s úkosem	1,268	0
Základní tvar s opt. sloupkem	1,176	7,9
Optim. tvar dif. s opt. sloupkem	1,047	21,1

Tab. 13.2. Vyhodnocení ztrátového součinitele spolu s vyjádřením procentuální změny

14. Závěr

Teoretická část práce byla věnována zpětným odběrovým klapkám a matematickému modelu založeném na proudění jednofázové tekutiny. Následovalo řešení problematiky měření zpětných klapek tak, aby matematický model odpovídal měření v reálných aplikacích. Především jsem se zaměřil na teorii optimalizace s využitím gradientové metody, která byla hlavním bodem práce. Vysvětlil jsem princip funkce programu SpaceClaim a vytvoření metodiky pro práci s ním. U SpaceClaimu jsem vyzkoušel optimalizaci na jednoduchém příkladu válce, u kterého byl proveden pokus o exportování optimalizované geometrie zpět do programu SpaceClaim za využití statické úlohy. Toto ověřování se ukázalo jako proveditelné. Následně po těchto krocích jsem popsal i princip použití Adjoint Solveru.

V další části jsem se zaměřil na zpětnou odběrovou klapku, u které je primárním pracovním médiem vysokotlaká pára. Teoretická příprava ukázala, že páru nelze využít pro optimalizaci z důvodu potřeb Adjoint Solveru. Z těchto důvodů jsem definoval fyzikální vlastnosti parního a vodního media. Ekvivalentním médiem pro páru byla voda s rychlostí $v = 5 [m \cdot s^{-1}]$. S využitím české státní normy ČSN EN 60534-2-3 byly přiblíženy ztrátové součinitele spolu se všemi důležitými parametry pro měření armatur.

Praktickou část jsem začal vytvářením matematického modelu, pro který bylo třeba vytvořit geometrii, výpočetní síť s nastavením okrajových podmínek. Po odladění sítě byl proveden základní výpočet proudění v programu ANSYS Fluent. U zpětné klapky se ukázal problém úzké štěrbiny nad klapkou, kvůli které vedl výpočet k divergenci. Z tohoto důvodu byl objem odstraněn, poté u výpočtu nebyl problém s konvergencí.

Základní výpočet také ukázal vznik kavitace na klapce konkrétně u sloupku. Z těchto důvodů bylo nutné sloupek optimalizovat a vytvořit novou geometrii. Adjoint Solver nepracuje s pevnostními kritérii, proto jej nebylo možné využít k optimalizaci sloupku. Přistoupil jsem tedy k ruční optimalizaci geometrie. Modifikace sloupku byla provedena změnou úkosu za různé varianty zaoblení s daným rádiusem s minimálními změnami pevnostních podmínek. Výsledkem pro tuto úlohu bylo dosaženo hladkého obtékání sloupku a potlačení kavitace. Na počátku byla hodnota statického tlaku $p = -101\,933$ [Pa]. Úpravami geometrie jsem docílil zvýšení statického tlaku na hodnotu $p = -85\,935$ [Pa].

Po ruční optimalizaci jsem se věnoval Adjoint Solveru a jeho popisu, tedy jak nejlépe využít optimalizačních programů pracujících na gradientové metodě. Pro optimalizaci jsem zvolil plochu difusoru, kde se počítá s dalším dosažením úspor pro armaturu. Adjungovaný výpočet s klapkou nevedl ke konvergenci, proto došlo k odstranění klapky a vytvoření

geometrie pouze difusoru. Po odstranění klapky byla znovu vytvořena výpočetní síť spolu se základním výpočtem proudění. I po těchto úpravách nenalezl program konvergenci. Výsledky pouze oscilovaly, ale nevedly ke konvergenzi. Z těchto důvodů jsem provedl změnu viskozity.

Viskozita byla změněna na hodnotu $\eta = 1$ [Pa · s]. Touto úpravou jsem se dostal z oblasti plně vyvinutého turbulentního proudění do oblasti laminárního proudění, které vedlo k hladšímu obtékání. Modifikace viskozity vedla k hladké konvergenzi řešiče. Na základě citlivostní analýzy byla provedena optimalizace difusoru s cílem snížení tlakového spádu. Změna tvaru geometrie byla volena pro deset procent. Úprava viskozity má smysl jen s následným exportem geometrie do prostředí SpaceClaim s cílem výpočtu s reálnými podmínkami. U této změny byl nalezen další problém.

Problém se týkal konvergence pro pevné stěny. Hodnota pro konvergenci pevných stěn byla nastavena pro pět iterací. Pro takto složitou úlohu nebyl program schopný dosáhnout v rámci pěti kroků konvergence. Výsledná geometrie je nereálná. Výsledek deformace je k vidění na obrázku (Obr. 9.3). Nastavením velkého počtu iterací program dosáhne konvergence pro pevné stěny a je zaručeno, že se nebude tvar zpětné odběrové klapky deformovat. Správně deformovaný tvar lze vidět u obrázku (Obr. 10.2). U této úlohy jsem dále zjistil, že program neoptimalizuje plochu symetrie, a proto jsem provedl úpravu plochy symetrie a následně opět přepočítal základní i Adjungovaný výpočet.

S takto odladěným matematickým modelem byla provedena optimalizace difusoru s cílem snížení tlakového spádu. Tlakový spád jsem měnil pro pět procent s vypočítanou změnou 500 [Pa]. Po každé optimalizaci jsem provedl základní výpočet, kde jsem zjistil, že vypočítaná a skutečná hodnota tlakového spádu je rozdílná vlivem linearizace diferenciálních rovnic. Při třetím optimalizačním kroku došlo k deformaci optimalizované plochy, která již není přípustná. Dosaženého optimalizovaného tvaru bylo docíleno již po dvou krocích a geometrie se mohla exportovat do programu SpaceClaim pro následné dosazení reálných podmínek.

Po exportování dat jsem provedl načtení nové geometrie do programu SpaceClaim, kde jsem provedl řadu úprav tak, abych dostal model v co nejlepším tvaru zpět do programu ANSYS Fluent. Do optimalizovaného tvaru jsem vložil optimalizovaný tvar sloupku, abych porovnal následně tři hodnoty ztrátového součinitele. Porovnáván byl základní tvar, optimalizovaný sloupek bez optimalizovaného difusoru a optimalizovaný difusor s optimalizovaným sloupkem. Optimalizovaný difusor zlepšil vlastnosti obtékání sloupku a tlakové minimum se zvýšilo z hodnoty $p = -85\,935$ [Pa] na $p_{min} = -60\,184,6$ [Pa]. Tyto

výsledky ukazují téměř dvojnásobně menší statický tlak než na základním modelu, což dokazuje, že geometrie již není v oblasti kavitace.

Vyhodnocení ztrátového součinitele jsem provedl s využitím dynamického a totálního tlaku na vstupu a výstupu. Výpočet byl proveden dle rov. 13.1. Výsledkem pak je, že ztrátový součinitel pro zpětnou odběrovou klapku typu C09 se šikmým dosedacím sedlem dosahuje hodnoty $\zeta = 1,268$ [1]. Optimalizací jsem dosáhl změny u ztrátového součinitele na hodnotu $\zeta = 1,047$ [1], což odpovídá 21% změně oproti původnímu stavu. Lze tedy říci, že optimalizace splnila zadaný úkol a zpětná odběrová klapka je tedy energeticky výhodnější.

Metodika výpočtu hydrodynamické síly je dobře popsána v literatuře s číslem [17]. Hydrodynamická síla v této práci nebyla počítána z časových důvodů.

Použitá literatura

- [1] PAVLOK, Bohuslav, Sylva DRÁBKOVÁ a Jana RAUTOVÁ. *Potrubní systémy a armatury: studijní opora. 1. vyd.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 249 s. ISBN 978-80-248-2518-2.]
- [2] MIKULA, Julius a kol.. *Potrubí a armatury.* Praha: STNL - Nakladatelství technické literatury, 1969, 440 s. [cit. 2017-10-29]
- [3] ARMATURY GROUP. *Zpětné armatury* [online]. 2015 [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: http://www.armaturygroup.cz/soubory/Produktove%20katalogy%20CZ%20EN/klapky-zpetne_dle-en_cz_final_mensi.pdf
- [4] KOZUBKOVÁ, Milada a kol. *Modelování přenosu tepla, hmoty a hybnosti* [online]. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011, 173 s. [cit. 2017-05-07]. ISBN 978-80-2482491-8. Dostupné z: http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/KozubkovaModelovani_prenosu_tepla_hmoty_a_hybnosti-KOZUBKOVA.pdf
- [5] BOJKO, Marian. *3D proudění – Ansys Fluent: učební text.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2607-3.
- [6] BOJKO, Marian. *"Modelování proudění" FLUENT: návody do cvičení.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1909-9.
- [7] KOZUBKOVÁ, Milada a Sylva DRÁBKOVÁ. *Numerické modelování proudění: FLUENT I.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2003. ISBN 80-248-0525-1.
- [8] ANSYS FLUENT Manual. *ANSYS FLUENT Adjoint Solver.* Version 15.0. ANSYS, Inc., 2013. 86 s. [cit. 2017-11-09]

- [9] TZANAKIS, Athanasios. *Duct optimization using CFD software 'ANSYS FluentAdjointSolver'*. Göteborg, Švédsko, 2014. Diplomová práce. Chalmers University of Technology in Göteborg. 42 s. [cit. 2017-11-09] Dostupné z: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/202020/202020.pdf>
- [10] JABLONSKÁ, Jana a Milada KOZUBKOVÁ. *Diagnostic sofresistance coefficients and cavitation off low kontrol valve* [online]. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, [cit. 2017-11-12].
- [11] ČSN EN 60534-2-3 *Regulační armatury pro průmyslové procesy – Část 2-3: Průtok – Zkušební postupy*. 1999.
- [12] ČSN EN 1267 *Průmyslové armatury – Měření průtokových ztrát s použitím vody jako zkušební tekutiny*. 2012.
- [13] ANSYS FLUENT Manual. *ANSYS FLUENT Advanced Add-On Modules* Version 16. 2. ANSYS, Inc., 2015. 474 s.
- [14] ANSYS FLUENT Manual. *ANSYS Fluent Theory Guide*, Version 15.0. ANSYS, Inc., 2013. 814 s.
- [15] JANALÍK, J.. *Obtékání a odpor těles* [online]. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 110 s. ISBN 978-80-248-1911-2. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/Janalik-Obtekani.pdf>
- [16] DRÁBKOVÁ, Sylva. *Mechanika tekutin* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2018-02-28]. ISBN 978-80-248-1508-4. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/Drabkova-Mechanikatekutin.pdf>

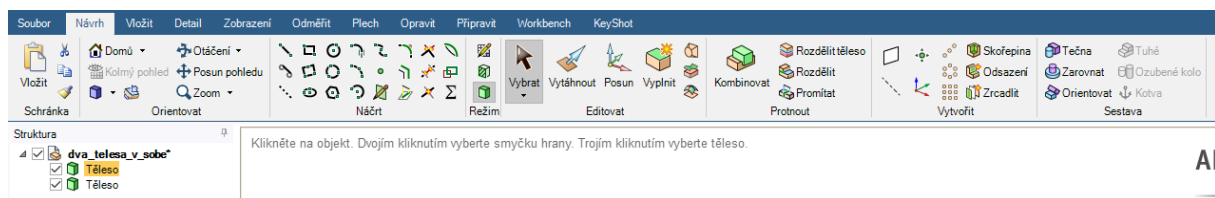
- [17] ŠOLTYS, D. *Optimalizace průtočné části zpětných klapek L10: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2017, 71 s. Vedoucí práce: Kozubková, M.
- [18] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32s.
- [19] INCROPORA, F. a kol.: *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6. edition, John Wiley and Sons 2007, 996 p., ISBN 978-0-471-45728-2.
- [20] Filtry ARMAGAS, [online]. [cit. 2017-11-1]. Dostupné z WWW: <http://www.gas-as.cz/x71600/plynovy-filtr-armagas-dn-125-pn-16>.
- [21] Vaše topení, [online]. [cit. 2017-11-1]. Dostupné z WWW: <https://www.vasetopeni.cz/rb-zpetna-klapka-2-1-2-plny-prutok-9871cz/>
- [22] Topení, armatury, radiátory a kotle, NOVÁK J., [online]. [cit. 2017-11-3]. Dostupné z WWW: <http://www.armaturynovak.cz/zbozi/rv-502-1967/>
- [23] SIEMENS, [online]. [cit. 2017-11-5]. Dostupné z WWW: <http://mdx2.plm.automation.siemens.com/cfdImage/aerodynamics-truck-cab>
- [24] ANSYS SpaceClaim Direct Modeler [online]. 2018. Dostupné z: <http://www.svsfem.cz/produkty/geometrie-a-sit/ansys-spaceclaim>

Přílohy

A. Prostředí SpaceClaim

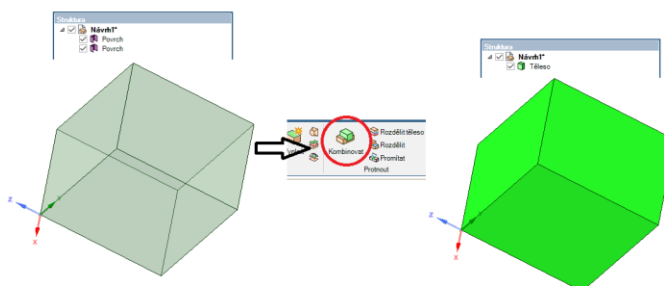
– Systémové prostředí programu SpaceClaim

Prostředí programu SpaceClaim se velmi blíží prostředí systémovému jako u CAD – CAM souborů. Ty jsou využívány aplikacemi pro tvorbu 3D konstrukcí. Prostředí lze vidět na obrázku (Obr. A1.) [24]



Obr. A1. Systémové prostředí SpaceClaim

Z obrázku (Obr. A1) lze vidět všechny důležité prvky, kterých bude využito. Systémové prostředí je uživatelsky přívětivé. Každý nástroj obsahuje vlastní podporu pomocí funkční klávesy F1. Tyto nápovědy jsou dobře popsány a dá se podle nich postupovat při vytvoření konstrukčních celků, které jsou vhodné další práci. [24]

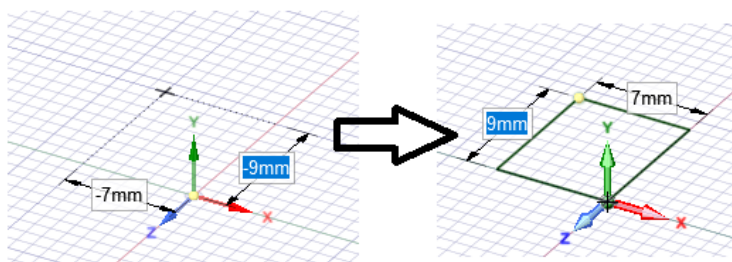


Obr. A2. Vytvoření objemu za pomoci funkce kombinovat z ploch

– Vytvoření ploch ve SpaceClaimu

Vytvoření ploch je za pomoci křivek. Jmenovitě křivky musí být uzavřeny a poté lze pomocí nástrojové ikony kombinovat vytvořit plochu. Tento postup je patrně viditelný na obrázku (Obr. A2) [24]

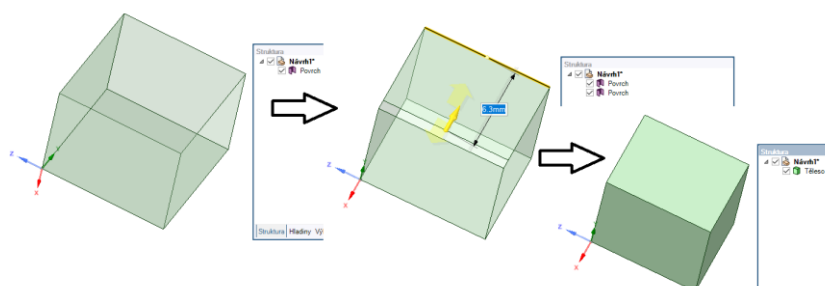
Důležité při konstrukci je i odměřování. Program SpaceClaim má možnosti kartézské a polární kóty. Tyto funkce dovolují od zvoleného počátku přesně odměřit bod, kde má být vytvořen prvek jako čtverec, kruh, obdélník a jiné tvary potřebné pro další konstrukci. Použití kartézské kóty lze vidět na obrázku (Obr. A3)



Obr. A3. Vytvoření plochy za pomoci kartézské kóty

– Vytvoření objemů ve SpaceClaimu

Vytvoření objemů je velmi podobné jako vytvoření ploch. Objem se vytvoří za pomoci více ploch, které vytvoří uzavřený objem. Program vyžaduje, aby vždy byly plochy uzavřené pro vytvoření objemu, který je patrný na obrázku (Obr. A4). [24]



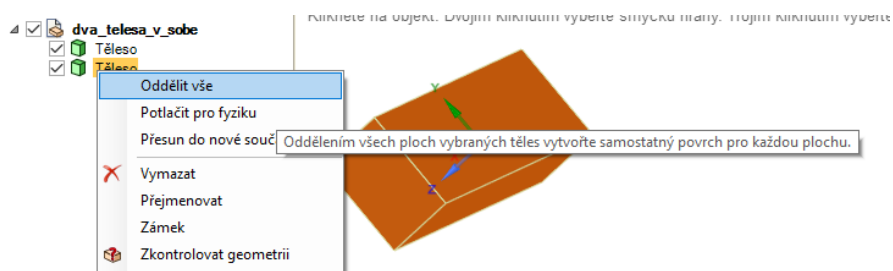
Obr. A4. Vytvoření objemu za pomoci skládání ploch

Vytvořené plochy se spojují stejnou funkční klávesou jako v obrázku (Obr. A2) ikonou „Kombinovat“

– Úprava geometrie ve SpaceClaimu

Úprava geometrie je důležitá pro síťování geometrie. Každá úprava, která zlepší a vyhladí geometrii je pro síťování velmi žádanou úpravou. ANSYS Fluent síťuje geometrii od nejmenší hrany nacházející se v geometrii. Proto jsou tyto úpravy velmi důležité z hlediska výsledného počtu elementů a kvality výpočetní sítě. [24]

Pro matematické modelování je velmi důležité použít pouze tvar průtočné části tělesa. Je tedy vhodné stěnu armatury plně odstranit a zachovat pouze průtočný tvar. Pro odstranění ploch je nutné poskytnutou a vymodelovanou geometrii rozdělit na plochy, ze kterých je těleso vytvořeno. Vytvoření je patrné na obrázku (Obr. A4)

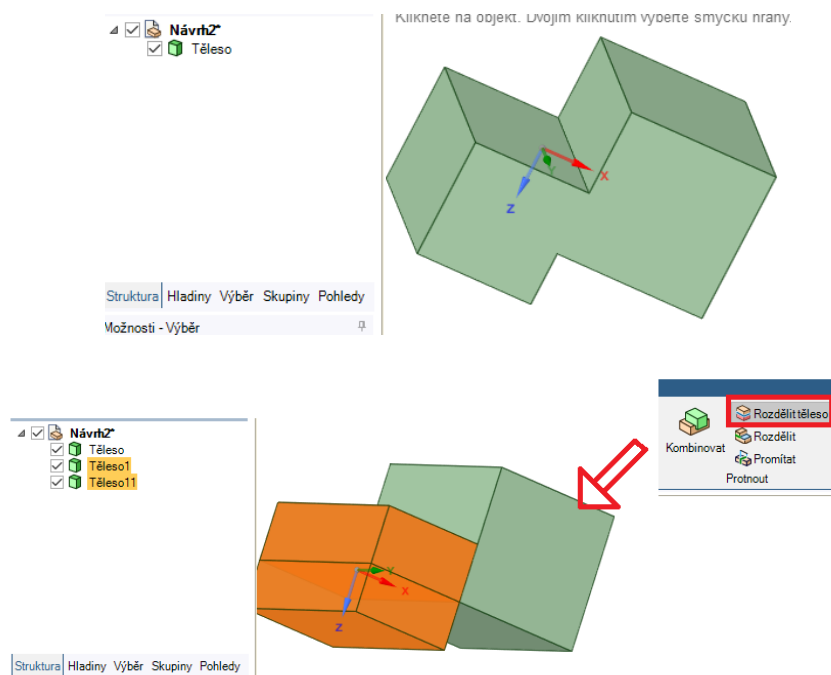


Obr. A4. Oddělení všech ploch vybraného tělesa z tělesa součásti

– Sloučení a odečítané objemů ve SpaceClaimu

Tato operace slouží k rozdělení součásti na jednodušší konstrukční celky a následně opět ke spojení těchto jednodušších celků do většího celku. Pak lze součást opakovaně vysunout a vytvořit pomocí primitivních operací několik jiných prvků. [24]

Na obrázku (Obr. A5), lze vidět součást, ze které je pomocí ikony „Rozdělit těleso“, vytvořeno několik součástí pomocí rovin.



Obr. A5. Součást po rozdělení pomocí funkčního tlačítka „Rozdělit těleso“

– Vytvoření symetrie (řezu) ve SpaceClaimu

Důležitou operací pro každou úlohu řešenou ne jen v programu ANSYS fluent je vytvoření řezu součástí tak abychom se mohly podívat, jak to vypadá uvnitř součásti. Tento pohled do útrob často přiblíží problém a umožní lépe pochopit smysl funkce součásti. [24]

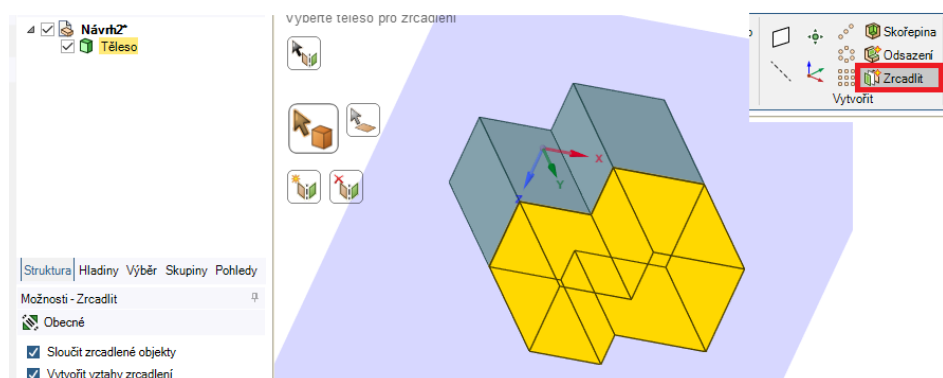
Symetrie součásti je zjednodušením součásti pro konstruktéra. Dle dělicí roviny lze součást kreslit pouze jako polovinu místo celku. V této práci je symetrie důležitá z důvodu ušetření elementů pro síťování.

V programu SpaceClaim se symetrická součást vytvoří dle již známého rozdělení tělesa. Pomocí funkční ikony (Zrcadlit) jde vytvořit kompletní součást, která je zobrazena na obrázku (Obr. A6).



Obr. A6. Funkční klávesa zrcadlení v prostředí SpaceClaim

Zrcadlení je vytvořeno pomocí plochy, která vytvoří zrcadlené těleso tak jak je vidět na příkladu, který je zobrazen na obrázku (Obr. A7), kde lze vidět i funkční klávesu „Rozdělit těleso“. [24]



Obr. A7. Využití zrcadelní v programu SpaceClaim

Rozdělení u rotačních součástí slouží pro jednodušší konstrukci a kótování. Postup tohoto rozdělení bude dále přiblížen u samotné armatury, kde je nezbytné tuto funkci použít.

– **Řezání a lepení geometrie**

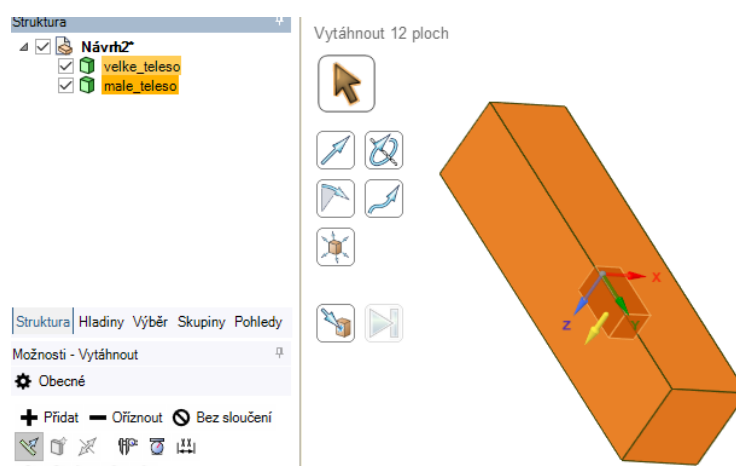
V předchozím ANSYS ver. 16.2 byl k vytváření používán Design Modeler pro konstrukci jednotlivých geometrií. V tomto prostředí je definována funkční klávesa s názvem „Boolean“, tj. Booleanovské operace, které se vyznačují odečítáním geometrií od sebe, protínajícími se geometriemi apod. [24]

Tyto operace jsou důležité pro složitější součásti, kde musí dojít k odečtu objemů od sebe, aby byly vytvořeny dva objemy.

V programu SpaceClaim tato ikona není definovaná, ale těchto operací lze dosáhnout pomocí funkčních tlačítek a následných úkonů, které zde budou přiblíženy na jednoduché úloze dvou krychlí.

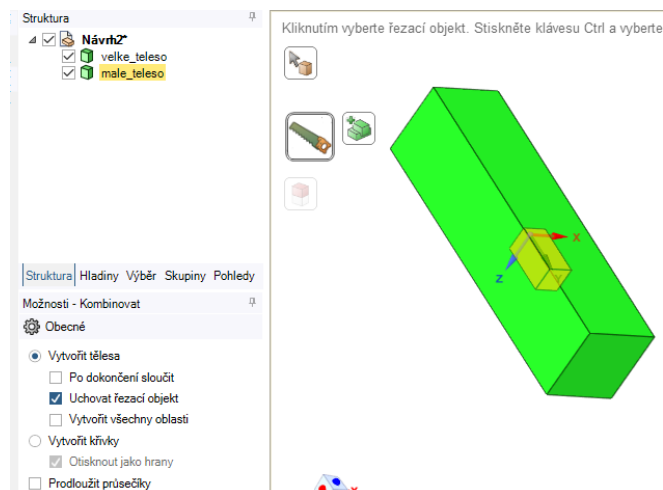
Do krychle byla vložena druhá krychle o menších rozměrech. Velká krychle zde zaujímá objem potrubí. Malá krychle zde plní funkci uzavíracího elementu zpětné klapky. Tento objem musí být odečten a zachován pro další práci jako obtékaný element tekutinou.

Odečtení bude dosaženo pomocí funkční klávesy „Kombinovat“ zobrazené na obrázku (Obr. A2). Dalším krokem bylo nutné vybrat oba objemy, které je vidět na obrázku (Obr. A8)



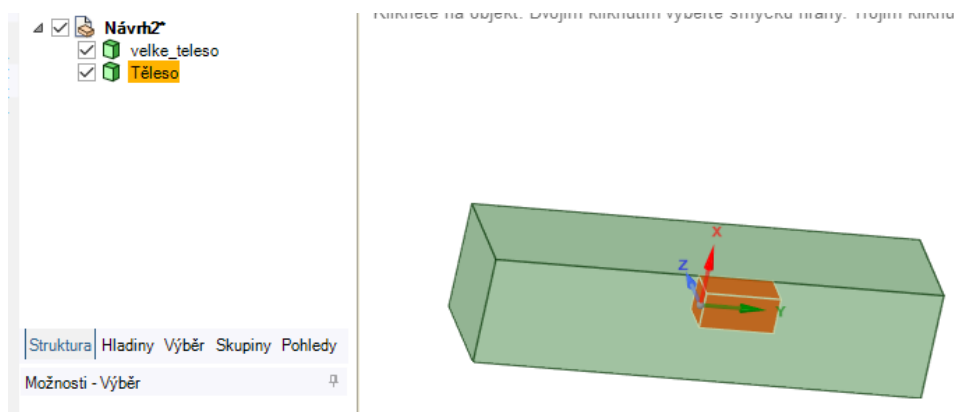
Obr. A8. Detail výběru obou součástí pro odečtení objemů od sebe

Následným výběrem funkční ikony „Kombinovat“ a dle požadavku programu postupujeme dále zvolením výběru velké krychle. Výběr aktivuje řezací funkci patrnou z obrázku (Obr. A9). Následně s výběrem je nutné definovat v menu parametry řezání.



Obr. A9. Funkce odečtení objemu v menu funkčního tlačítka „Kombinovat“ s nastavením řezacích možností

Kliknutím na malou krychli vznikne nové těleso. Nově vytvořené těleso je výsledek odečtu malé krychle od velké krychle. Zde je možnost zachovat řezací objekt, což vychází z obrázku (Obr. A9). Lze však nastavit, že řezací objekt bude odstraněn a dále vytvořen objem pouze řezaný patrný na obrázku (Obr. A10), kde lze vidět objem stejný, jako byl předchozí malé krychle ale odečtený od velké krychle.



Obr. A10. Finální vytvoření objemu odečtením velké krychle od malé krychle tzv. Booleanovské operace

Tento efekt si lze ověřit převedením geometrie do libovolného softwaru, který umí měřit objemy. Tuto funkci lze ověřit pomocí měření objemů v ANSYS Mesching. Tato teorie je ověřena a bude následně použita na optimalizaci zpětné klapky. [24]

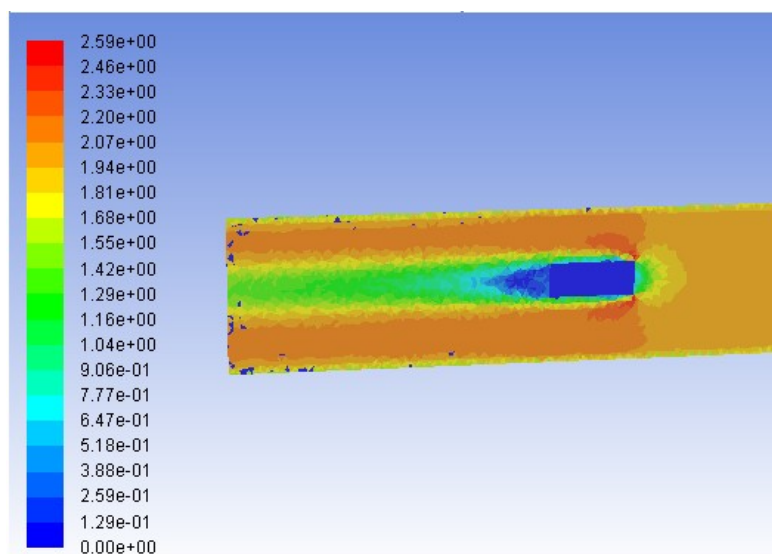
– Odebrání objemu na jednoduchém příkladu dvou kostek

Výsledkem je dle literatury [15] správný obtékaný tvar a vírová cesta s problematikou proudění v místě za konstrukčním celkem. Pro nastavení této úlohy v programu ANSYS zde

není dostatek prostoru z důvodu velikosti práce, proto je zobrazen akorát výsledný obtékaný tvar.

Vytvoření geometrie pro tuto zkoušku je důkladně popsána v kapitole 6.2, kde je přibliženo i jak bylo vytvořeno odebrání tohoto objemu, aby součet těchto objemů tvořil pouze jednu oblast a bylo zamezeno tomu, aby se oblasti spolu nepřekrývaly a netvořily součet obou ploch.

Úloha dosáhla konvergence. Výsledky vykazující tvar obtékaného tělesa s nárůstem rychlostí na hraně obtékaného tělesa související s nárůstem tlaku v tomto místě. Na hranách obtékaného tělesa se vytváří třecí ztráty a rychlost v místě u tělesa dosahuje nulových rychlostí. Za tělesem je oblast podtlaku s flukтуаčním zavíráním kapaliny. Dále od tělesa kapalina získává své původní parametry ze vstupu. Tyto postupy jsou viditelné na obrázku (Obr. A11)



Obr. A11. Zkouška obtékání tělesa v tělesu pro optimalizaci zpětné klapky

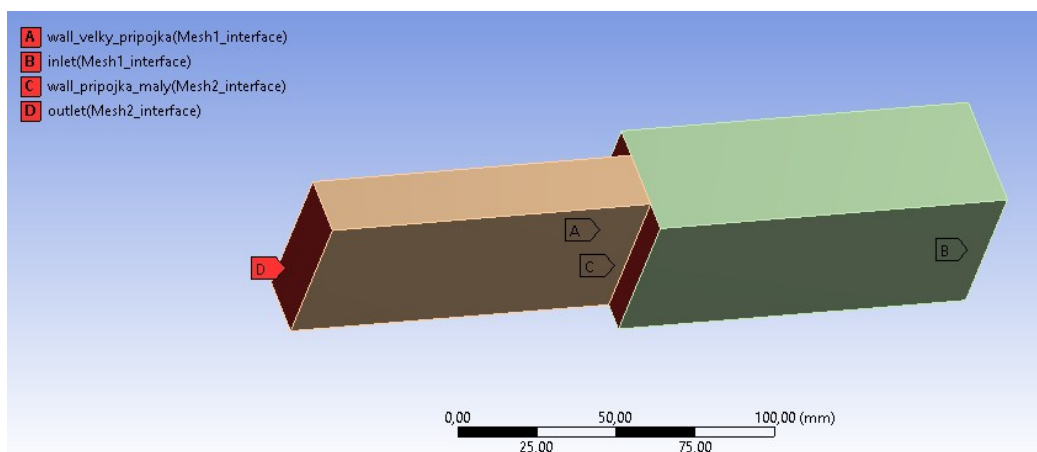
– Vytvoření ploch interface na dvou kostkách o rozdílném síťování

V prostředí programu ANSYS Fluent dochází k tomu, že po dosažení konce rozhraní a přechodu do nového rozhraní dochází ke konci výpočtu a k opětovnému začátku výpočtu. V této kolizní ploše může docházet k velkému rozdílu hodnot. Tento problém mají vyřešit plochy s názvem „Interface“. Plochy vzniknou vytvořením programem nebo ručním nastavením v systémovém prostředí programu ANSYS Fluent. Tyto plochy mají za cíl vytvořit hladký přestup, ve kterém výpočet proběhne plynule bez překážek a zastavování výpočtu. [24]

Slouží k následujícímu použití:

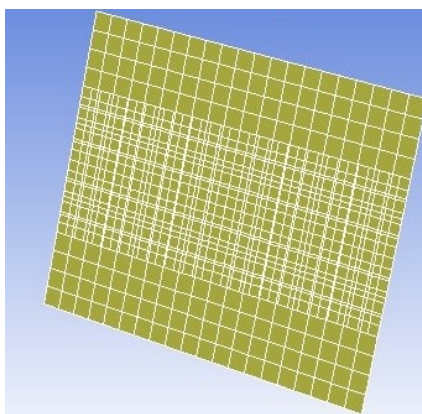
- Plochy ne příliš dobře na sebe navazující
- Klouzající plochy po sobě (Rotor a stator oběžného kolo)
- Rozdílná kvalita a hustota sítě

Pro vytvoření plochy je třeba definovat dělicí plochy jako okrajovou podmínky „Wall“. Tyto stěny se definují na výstupu z jednoho rozhraní a vstupu do druhého rozhraní. Tento popis je patrný z obrázku (Obr. A12)



Obr. A12. Definování ploch pro vytvoření plochy interface s důležitými okrajovými podmínkami

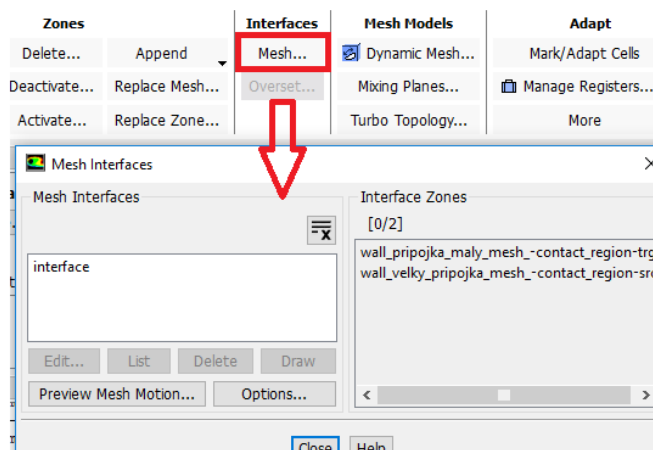
Po definování všech okrajových podmínek bylo dokončeno síťování jednotlivých obrazců tak, aby každá z těchto krychlí měla rozdílnou velikost elementu „Sizing“. Na obrázku (Obr. A13) je přiblížen pohled na rozdílné síťování této zkoušky [24]



Obr. A13. Pohled na rozdílné síťování krychlí

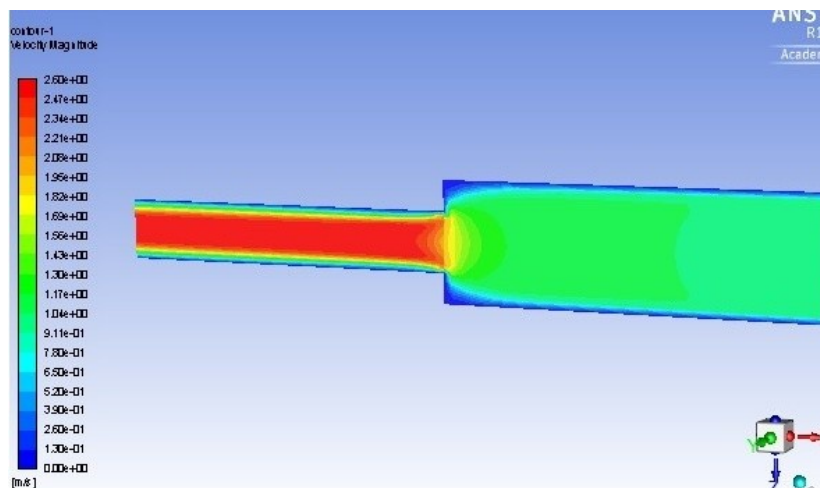
Ve Fluentu je potřeba předdefinovat okrajovou podmínku typu wall na typ interface. Po tomto definování je zpřístupněna funkční klávesa zobrazená se systémovým prostředím této

klávesy na obrázku (Obr. A14), kde lze vidět vytvořenou plochu interface a plochy, ze kterých tato plocha vychází. Výchozí plochy jsou sloučeny a následně program vytvoří další plochy typu „wall“ s jednotlivým označením, které jsou průsečíky těchto dvou ploch. Tyto plochy jsou však prázdné a nic se u nich nedefinuje.



Obr. A14. Funkční klávesa pro vytvoření plochy interface s již vytvořenou plochou tohoto typu

Výsledkem vytvoření této plochy je, že při konvergenci úlohy jsou grafické výsledky u přechodu plynulé a ne skokové. Výsledek této zkoušky lze vidět na obrázku (Obr. A15). U této zkoušky výpočet dosahuje konvergence při 85 iteracích a je patrně viditelné, že přechod těchto oblastí je plynulý a výsledek dostačující. [24]



Obr. A15. Grafický výstup výsledku pro rychlostní pole u zkoušky vytvoření ploch interface

CD Přílohy

B. Excel pro vyhodnocení ztrátového součinitele